

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
ESCOLA POLITÈCNICA SUPERIOR D'ALCOI

**DISEÑO DE UN BASTIDOR PARA LA
REALIZACIÓN DE ENSAYOS ESTÁTICOS DE
CARGA APLICADOS A PALAS DE
AEROGENERADORES**

Trabajo Final de Grado

Grado en Ingeniería Mecánica

Autor: Jorge Morales Ortín

Tutor: D. David García Sandunguera

Cotutor: D. Octavio Ángel Fenollar Gimeno

Curso académico: 2014 - 2015

Resumen

El objeto de este trabajo es desarrollar un sistema de anclaje y aplicación de cargas para el estudio mecánico de palas de aerogeneradores. El bastidor deberá ser acoplable a una máquina de ensayos de tracción universal que actuará como sistema de control y adquisición de datos. El bastidor será extensible para permitir el ensayo de diferentes tamaños de pala y móvil para facilitar su desplazamiento o almacenamiento cuando no esté en uso. El banco de ensayos cumplirá con toda la normativa aplicable en cuanto a diseño y normativa de seguridad en este tipo de máquinas.

También se construirá una pala de aerogenerador, utilizando una pala real para la obtención previa de las dos partes del molde. La pala será conformada por laminación y compactación por vacío, empleando para su construcción material compuesto formado por fibras y resina polimérica.

L'objectiu d'aquest treball es desenvolupar un sistema d'ancoratge i aplicació de càrregues per a l'estudi mecànic de pales d'aerogeneradors. El bastidor haurà de ser acoblable a una màquina d'assajos de tracció universal que actuarà com a sistema de control i adquisició de dades. El bastidor serà extensible per a permetre l'assaig de diferents grandàries de pala, i mòbil per a facilitar el seu desplaçament o emmagatzemament quan no estiga en ús. El banc d'assajos complirà amb tota la normativa aplicable en quant a disseny i normativa de seguretat en aquest tipus de màquines.

També es construirà una pala d'aerogenerador, utilitzant una pala real per a l'obtenció prèvia de les dos parts del motle. La pala serà conformada per laminació i compactació per buit, emprant per a la seua construcció material format per fibres i resina.

The aim of this dissertation is to develop an anchoring system and applying loads for the mechanical study of wind turbine's blade. The frame has to be attachable to a test machine with universal traction that will act as the control system and data capture. The frame will be extendible to allow the trial of different blade's measures, and movable to ease its movement or storage when not in use. The test data bank will comply with all the regulations on design and security applicables to this sort of machines.

Will be built a wind turbine's blade, being used a real blade for the previous extraction of the mould's both parts. The blade will be shaped by lamination and vacuum compression, using for its building materials fibres and resins.

Palabras clave: Aerogenerador, Pala, Ensayo, Tracción, Bastidor.

Keywords: Wind Turbine, Blade, Test, Traction, Frame.

Índice

1. Objetivos.....	4
1.1. Diseño Bastidor.....	4
1.2. Construcción Pala Aerogenerador.....	4
2. Introducción.....	5
2.1. Energías Renovables.....	5
2.1.1. Biocarburantes.....	8
2.1.2. Biomasa.....	8
2.1.3. Geotérmica de Alta Entalpía.....	9
2.1.4. Geotérmica de Baja Entalpía.....	10
2.1.5. Marina.....	11
2.1.6. Solar Fotovoltaica.....	12
2.1.7. Solar Térmica.....	13
2.1.8. Solar Termoeléctrica.....	14
2.1.9. Minihidráulica.....	15
2.2. Energía Eólica.....	17
2.2.1. Minieólica.....	18
2.3. Palas Aerogeneradores.....	19
2.3.1. Materiales.....	20
2.3.2. Ensayos a los que se someten las Palas.....	20
2.4. Banco de Ensayos.....	22
3. Desarrollo y Resultados.....	23
3.1. Limitaciones y Requerimientos.....	23
3.1.1. Dimensiones maquina Tracción.....	23
3.1.2. Movilidad.....	23
3.1.3. Carga máxima.....	24
3.2. Material.....	24
3.3. Diseño del bastidor.....	25
3.3.1. Chasis.....	25

3.3.2. Soporte Cabezal.....	26
3.3.3. Soporte Ruedas.....	27
3.3.4. Cabezal.....	28
3.3.5. Base Contrapeso.....	29
3.4. Ensamblaje.....	34
3.5. Simulación.....	36
3.6. Resultados.....	40
4. Experimental.....	41
4.1. Materiales.....	44
4.2. Equipo de trabajo.....	47
4.3. Fabricación.....	48
4.3.1. Laminado.....	50
4.3.2. Compactación por vacío.....	52
4.3.3. Acabado.....	54
5. Presupuesto y/o estudio económico.....	56
6. Conclusiones.....	57
7. Planos.....	58
8. Bibliografía.....	59

1. Objetivo

1.1. Diseño Bastidor

El Objetivo del Presente TFG es el diseño de un bastidor para la realización de ensayos estáticos de carga aplicados a palas de aerogeneradores, utilizadas en minieólica. Utilizando para la aplicación de las cargas una maquina universal de tracción.

Diseñar en 3D mediante SOLIDWORKS el bastidor, todos sus componentes y los utillajes para la fijación de las palas al bastidor. Analizar estáticamente todo el conjunto una vez este ensamblado.

1.2. Construcción Pala Aerogenerador

Construir una pala a escala real a partir de un molde, empleando materiales compuestos. A partir de los procesos de fabricación de laminación y de compactación por vacío de las capas de fibra y de la resina polimérica.

2. Introducción

2.1. Energías Renovables

Las energías renovables son aquellas que se obtienen de fuentes naturales inagotables a escala humana, bien porque el recurso dispone de una cantidad de energía inmensa, bien porque el recurso tiene la capacidad de regenerarse de manera natural.

La utilización de energías renovables es muy antigua. Los molinos y la navegación a vela son dos ejemplos claros de este uso. En la actualidad, las energías renovables constituyen fuentes de abastecimiento energético autóctonas y respetuosas con el medio ambiente.

Existen diferentes fuentes de energía renovable, según los recursos naturales utilizados para la generación de energía:

- Biocarburantes
- Biomasa
- Geotérmica de Alta Entalpía
- Geotérmica de Baja Entalpía
- Marina
- Solar Fotovoltaica
- Solar Térmica
- Solar Termoeléctrica
- Minihidráulica
- Eólica

2.1.1. Biocarburantes

Los Biocarburantes son combustibles líquidos o gaseosos para automoción producidos a partir de biomasa, entendiéndose como tal la materia orgánica biodegradable procedente de cultivos energéticos y residuos agrícolas, forestales, industriales y urbanos.

En la actualidad se producen a escala industrial tres tipos de Biocarburantes:

- Biodiésel
- Bioetanol
- Biogás

El Biodiésel es un éster producido a partir de la reacción de aceites vegetales o grasas animales con un alcohol. En España y en el resto de la UE los aceites de primer uso más utilizados son la colza, la soja y el girasol, teniendo también un peso importante los aceites usados. En la actualidad, se está estudiando su producción a partir de algas, cardo y jatropha. El alcohol más utilizado en la UE es el metanol, aunque también se puede utilizar etanol, como se hace mayoritariamente en Brasil.

El bioetanol se produce a partir de la fermentación de materia orgánica con altos contenidos en almidón como los cereales y la remolacha, comúnmente utilizados en Europa y EE.UU., y la caña de azúcar, especialmente usada en Brasil. El desarrollo de enzimas avanzadas permitirá, además, su obtención a partir de material lignocelulósico.

El biogás es un gas compuesto principalmente por metano (en un 80-92%) formado por la degradación de materia orgánica en atmósfera libre (o pobre) de oxígeno, proceso conocido como digestión anaerobia o metanización. Generalmente, sus características de combustión son asimilables a las del gas natural, pudiendo tener incluso una mayor pureza que éste.



Imagen 1. Biocarburantes

Además de los Biocarburantes comentados, existen otros cuya aplicación futura resulta muy prometedora. Así, están los Biocarburantes conocidos como BtL, es decir Biomass-to-Liquid, que se producen a partir de cualquier tipo de biomasa por gasificación y posterior licuefacción mediante proceso Fischer-Tropsch o isomerización, es decir, por “reordenamiento” de los átomos de las moléculas para asemejarlas a hidrocarburos. También se puede producir Biodiésel a partir de aceites vegetales por hidrogenación, es decir, mediante la adición directa de hidrógeno bajo presión y en presencia de un catalizador.

Ventajas de los Biocarburantes

Las ventajas de los Biocarburantes con respecto los carburantes fósiles son varias. Los beneficios medioambientales asociados al consumo de Biocarburantes han sido documentados y demostrados por entidades reconocidas a nivel mundial, como son el Panel Internacional contra el Cambio Climático (IPCC) de la ONU , la Agencia Internacional de la Energía (AIE), Concawe, CIEMAT o la misma Comisión Europea. Entre estos beneficios, destacan particularmente la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), la disminución de la contaminación atmosférica y la mejora de la eficiencia energética.

Además, los Biocarburantes son los únicos combustibles que han de asegurar su sostenibilidad. La recién aprobada Directiva de Promoción de Energías Renovables introduce los siguientes criterios de sostenibilidad:

- Reducción de los gases de efecto invernadero en más de un 35% respecto a los carburantes fósiles.
- No utilizar tierras protegidas o con elevado contenido en biodiversidad.
- No utilizar tierras con elevados stocks de carbono, como humedales.
- Las materias primas europeas han de ser cultivadas bajo estrictos criterios de sostenibilidad.

Adicionalmente a la Directiva, existen acuerdos internacionales tales como el Round Table on Sustainable Biofuels (RSB), actualmente en desarrollo, o el Round Table on Sustainable Palm Oil (RSPO), que recientemente ha entrado en funcionamiento, que aseguran la sostenibilidad de la materia prima utilizada para producir Biocarburantes.

Aparte de los beneficios medioambientales, el desarrollo de un mercado y una industria sólida de Biocarburantes supone una serie de beneficios sociales y económicos, entre los que destacan la reducción de la dependencia energética, el aumento de la diversificación de suministro, la mejora de la balanza comercial, el incremento del rendimiento de los vehículos y el impulso en favor del sector agrícola.

Tecnologías

Por sus características y propiedades el Biodiésel puede ser utilizado en motores diésel, comercializándose en España en estado puro o en mezclas con gasóleo entre el 10% y el 30%. La norma UNE-EN 590 del gasóleo permite un porcentaje de mezcla del 5% sin necesidad de etiquetaje diferenciado con respecto al gasóleo puro. Esta norma está siendo actualmente revisada para, en una primera etapa, permitir la mezcla hasta el 7% y, posteriormente, aumentarla al 10%.

El bioetanol en la UE se utiliza habitualmente en mezclas con gasolina hasta el 5% según la norma europea EN228 o formando un compuesto llamado ETBE utilizado como oxigenante y mejorador del octanaje de la gasolina. En otros países, como Brasil, el porcentaje de bioetanol en la gasolina ha ido aumentando desde el 4,5% en 1977 hasta el 15% en 1979 y el 20% en 1981 alcanzándose en la actualidad un porcentaje mínimo de mezcla del 23%. En EE.UU. mezclas hasta

un 10% de bioetanol con gasolina se consideran gasolina y tienen que cumplir con las especificaciones de la misma. Se está estudiando aumentar este porcentaje al 15%.

El bioetanol también puede ser utilizado en vehículos específicos, llamados vehículos flexibles (o FFV en sus siglas en inglés) en mezclas de hasta el 85%. Adicionalmente, distintas experiencias han demostrado que podría ser utilizado también en motores diésel adecuadamente modificados ya sea en estado puro o al 95%, normalmente en motores pesados (Heavy Duty Vehicles), o en bajos porcentajes con gasóleo, normalmente entre 10 y 15%, formando un nuevo carburante que se ha venido a denominar E-diésel.

El biogás se puede utilizar con normalidad en vehículos de gasolina adecuadamente modificados para añadir un tanque de almacenamiento de biogás comprimido.

2.1.2. Biomasa

La biomasa es la utilización de la materia orgánica como fuente energética. Por su amplia definición, la biomasa abarca un amplio conjunto de materias orgánicas que se caracteriza por su heterogeneidad, tanto por su origen como por su naturaleza.

En el contexto energético, la biomasa puede considerarse como la materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía. Estos recursos biomásicos pueden agruparse de forma general en agrícolas y forestales. También se considera biomasa la materia orgánica de las aguas residuales y los lodos de depuradora, así como la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (FORSU), y otros residuos derivados de las industrias.



Imagen 2. Biomasa

La valoración de la biomasa puede hacerse a través de cuatro procesos básicos mediante los que puede transformarse en calor y electricidad: combustión, digestión anaerobia, gasificación y pirolisis.

2.1.3. Geotérmica de Alta Entalpía

La energía geotérmica es aquella energía almacenada en forma de calor que se encuentra bajo la superficie de la tierra. Esta energía puede aprovecharse para la producción directa de calor o para la generación de electricidad. Es una energía renovable y de producción continua las 24 horas del día y, por tanto, gestionable.

La energía geotérmica de alta entalpía es la que aprovecha un recurso geotérmico que se encuentra en determinadas condiciones de presión y alta temperatura (superior a 150 °C). El aprovechamiento de este recurso puede hacerse directamente si se dan de forma natural las condiciones geológicas y físicas para ello. Si el yacimiento geotérmico cuenta con condiciones físico-geológicas favorables pero no existe fluido, éste podría inyectarse creando así un yacimiento de roca caliente seca (geotermia estimulada).

Tecnología

La producción de energía eléctrica consta por un lado del subsuelo donde se desarrollan los sondeos o perforaciones, que tienen como objeto acceder hasta el reservorio geotermal para extraer el calor a la superficie en forma de vapor a presión o de agua caliente; y por otro está la planta geotérmica, situada en la superficie y cuyo objetivo es la generación de electricidad a partir de la transformación del calor extraído del subsuelo en energía mecánica mediante un ciclo termodinámico.

La producción de calor directo consiste en el intercambio directo del calor del subsuelo con otro circuito secundario en superficie (red de distrito) que calienta de manera directa los edificios. El fluido de agua caliente sirve tanto para calefacción como para agua caliente sanitaria. A través de un convertidor, se puede invertir el proceso generando frío en el verano.

2.1.4. Geotérmica de Baja Entalpía

La energía geotérmica de baja entalpía basa sus aplicaciones en la capacidad que el subsuelo posee de acumular calor y de mantener una temperatura sensiblemente constante, entre 10 y 20 m de profundidad, a lo largo de todo el año.

Debido a que el contenido en calor de los recursos geotérmicos de baja entalpía es insuficiente para producir energía eléctrica, aquellos recursos con temperaturas por debajo de 50° e incluso hasta 15°C, pueden ser utilizados para producción de agua caliente sanitaria y para climatización, ayudándose de un sistema de bomba de calor que en la actualidad ya proporciona 4.500 MWt de potencia instalada sólo en Europa.

Tecnología

La tecnología desarrollada para el aprovechamiento de la energía geotérmica de baja entalpía es la bomba de calor geotérmica renovable.

El calor se extrae del subsuelo terrestre, para poder calentar un fluido de alta compresibilidad y bajo punto de vaporización, al objeto de transmitir ese calor a una instalación en invierno, e

invirtiendo el proceso, trasladando el calor al terreno en verano, y transfiriendo así frío a la instalación. Los diferentes sistemas de bombas de calor permiten extraer y utilizar económicamente ese calor contenido en cuerpos de baja temperatura, tales como suelos, acuíferos someros, etc.

Las bombas de calor geotérmicas son máquinas que mueven el calor en una dirección opuesta a la dirección que tendería naturalmente, esto es, desde un espacio o cuerpo frío a uno de mayor temperatura. Muchas bombas de calor son reversibles y pueden proporcionar ya sea calor o frío al espacio.

2.1.5. Marina

Se conoce como energía marina un conjunto de tecnologías que aprovechan la energía de los océanos. El mar tiene un gran potencial energético, que se manifiesta principalmente en las olas, las mareas, las corrientes y en la diferencia de temperatura entre la superficie y el fondo marino.



Imagen 3. Marina

El aprovechamiento de la energía marina no genera impactos ambientales ni visuales considerables y constituye un recurso energético con gran capacidad de predicción. Sin embargo, las condiciones hostiles del mar, la fuerza del oleaje y de la corrosión marina, así como la necesidad de contar con mecanismos para trasladar la energía a tierra, hacen que esta tecnología requiera de grandes inversiones y que aún esté, salvo alguna excepción, en fase precomercial.

Tecnología

Dentro de la energía marina existen una gran cantidad de tecnologías dependiendo, principalmente, del tipo de energía que se pretende aprovechar. A continuación se enumeran las principales tecnologías:

UNDIMOTRIZ (OLAS): Se han desarrollado diferentes convertidores que presentan diversos grados de madurez.

- Flotantes (pelamis y boyas flotantes).
- Anclados a la costa (columna de agua oscilante – OPC).
- Anclados al fondo marino.

MAREMOTRIZ (MAREAS): aprovecha el movimiento natural de ascenso (pleamar) o descenso (bajamar) de las aguas.

GRADIENTE DE SALINIDAD: energía obtenida debido a las diferencias de presión osmótica, lo que se denomina energía del gradiente salino.

MAREMOTÉRMICA: convierte la energía térmica oceánica gracias a la diferencia de temperaturas entre la superficie calentada por el sol y las frías profundidades.

2.1.6. Solar Fotovoltaica

La energía fotovoltaica es la transformación directa de la radiación solar en electricidad. Esta transformación se produce en unos dispositivos denominados paneles fotovoltaicos. En los paneles fotovoltaicos, la radiación solar excita los electrones de un dispositivo semiconductor generando una pequeña diferencia de potencial. La conexión en serie de estos dispositivos permite obtener diferencias de potencial mayores.

Aunque el efecto fotovoltaico era conocido desde el siglo XIX, fue en la década de los 50, en plena carrera espacial, cuando los paneles fotovoltaicos comenzaron a experimentar un importante desarrollo. Inicialmente utilizados para suministrar electricidad a satélites geoestacionarios de comunicaciones, hoy en día constituyen una tecnología de generación eléctrica renovable.

Una de las principales virtudes de la tecnología fotovoltaica es su aspecto modular, pudiéndose construir desde enormes plantas fotovoltaicas en suelo hasta pequeños paneles para tejados.



Imagen 4. Fotovoltaica

Tecnología

El efecto fotovoltaico se basa en la capacidad de los electrones de un material para excitarse y promocionar a un nivel energético superior. La diferencia entre los niveles, denominada gap, puede salvarse en determinados materiales denominados semiconductores mediante los fotones que componen la radiación solar.

Hasta época muy reciente el desarrollo de esta tecnología estaba basado, casi exclusivamente, en la obtención de materiales que permitieran una mejor eficiencia en la conversión de la energía solar en energía eléctrica. Actualmente los últimos desarrollos pasan por las células multiunión, que apilan células con distinto gap, o la concentración, que enfoca la radiación solar hacia una zona específica, de forma que la cantidad de material semiconductor sea menor.

Se trata de una tecnología que depende mucho de la investigación, principalmente en los materiales utilizados, por lo que en el futuro se prevé un aumento del rendimiento de las placas y, por lo tanto, una reducción de los costes.

2.1.7. Solar Térmica

Se trata de recoger la energía del sol a través de paneles solares y convertirla en calor el cual puede destinarse a satisfacer numerosas necesidades. Por ejemplo, se puede obtener agua caliente para consumo doméstico o industrial, o bien para dar calefacción a hogares, hoteles, colegios o fábricas. También, se podrá conseguir refrigeración durante las épocas cálidas.



Imagen 5. Térmica

En agricultura se pueden conseguir otro tipo de aplicaciones como invernaderos solares que favorezcan las mejoras de las cosechas en calidad y cantidad, los secaderos agrícolas que consumen mucha menos energía si se combinan con un sistema solar, y plantas de purificación o desalinización de aguas sin consumir ningún tipo de combustible.

Con este tipo de energía se podría reducir más del 25 % del consumo de energía convencional en viviendas de nueva construcción con la consiguiente reducción de quema de combustibles fósiles y deterioro ambiental. La obtención de agua caliente supone en torno al 28 % del consumo de energía en las viviendas y que éstas, a su vez, demandan algo más del 12 % de la energía en España.

2.1.8. Solar Termoeléctrica

La radiación solar puede ser utilizada para la generación de electricidad mediante un proceso de dos etapas: primero convirtiéndola en calor y luego convirtiendo el calor en electricidad por medio de ciclos termodinámicos convencionales (utilizando colectores solares de concentración o campos heliostáticos que focalizan en un punto), o bien mediante generadores termoeléctricos.

Es una tecnología sobre la que se están depositando grandes expectativas de instalación debido a que España cuenta con unos niveles excelentes de radiación solar.



Imagen 6. Termoeléctrica

Tecnología

Las centrales solares termoeléctricas convierten la energía solar en electricidad mediante sistemas de concentración, que calientan un fluido cuya energía térmica será transformada en energía mecánica mediante un ciclo termodinámico, para posteriormente generar electricidad.

Estas plantas son gestionables, es decir, pueden tener un importante grado de independencia temporal de la producción eléctrica respecto del recurso solar, característica muy valorada dado que aporta estabilidad al sistema eléctrico.

Las tecnologías de generación solar termoeléctrica pueden clasificarse en:

- Plantas con concentradores cilindro-parabólicos CCP.
- Plantas con concentradores Fresnel lineales CLF.
- Plantas de torre con receptor central y campo de heliostatos.
- Discos parabólicos con motores Stirling.

2.1.9. Minihidráulica

La energía potencial acumulada en los saltos de agua puede ser transformada en energía eléctrica. Las centrales hidroeléctricas aprovechan la energía de los ríos para poner en funcionamiento unas turbinas que mueven un generador eléctrico. En España se utiliza esta energía para producir alrededor de un 15 % del total de la electricidad.



Imagen 7. Minihidráulica

Uno de los recursos más importantes cuantitativamente en la estructura de las energías renovables es la procedente de las instalaciones hidroeléctricas; una fuente energética limpia y autóctona pero para la que se necesita construir las necesarias infraestructuras que permitan aprovechar el potencial disponible con un coste nulo de combustible. El problema de este tipo de energía es que depende de las condiciones climatológicas.

2.2. Energía Eólica

El aprovechamiento de la energía eólica, energía cinética que posee una masa de aire, es casi tan antiguo como la civilización. Esta energía ha sido utilizada desde tiempos remotos por el hombre, para impulsar sus barcos mediante velas o para hacer funcionar molinos, tanto para moler grano como para bombear agua.

En el siglo XX comenzó la utilización de la energía eólica para la producción eléctrica. Inicialmente su uso se limitaba al autoabastecimiento de pequeñas instalaciones. Sin embargo, en la última década del siglo XX, gracias a un desarrollo tecnológico y a un incremento de su competitividad en términos económicos, la energía eólica se ha convertido en una opción más del mix eléctrico.



Imagen 8. Eólica

Tecnología

Para captar la energía eólica se pueden emplear palas rotando alrededor de un eje horizontal o por el contrario utilizar palas verticales situadas a lo largo de un cilindro girando en torno a un eje vertical. La tecnología mayoritariamente empleada es la del aerogenerador, máquina que convierte la fuerza del viento en electricidad, con tres palas girando en un eje horizontal. En este tipo de molinos la energía transferida es proporcional al cubo de la velocidad del viento y su máxima transferencia de energía a las palas es del orden del 53% de la energía eólica incidente.

El aerogenerador de eje horizontal, empleado mayoritariamente en el parque eólico español, consta de tres partes básicas:

- El rotor, que incluye el buje y las palas, generalmente tres.
- La góndola, dónde se sitúan el generador eléctrico, los multiplicadores y sistemas hidráulicos de control, orientación y freno.
- La torre, que debe ser tubular, ya que las de celosía no se emplean en la actualidad.

Los aerogeneradores han pasado en tan sólo unos años de tener una potencia de 25 kW a los 6.000 kW de algunos modelos destinados a eólica offshore, también llamada eólica marina.

La explotación de la energía eólica se lleva a cabo en la actualidad fundamentalmente para la generación de electricidad que se vende a la red y ello se hace instalando un conjunto de molinos que se denomina parque eólico. En la actualidad los parques que se están inaugurando tienen normalmente una potencia instalada que oscila entre los 10 y los 50 MW.

Cada parque cuenta además con una central de control de funcionamiento que regula la puesta en marcha de los aerogeneradores y la energía generada en cada momento, recibe partes meteorológicos, etcétera.

2.2.1. Minieólica

La energía minieólica es el aprovechamiento de los recursos eólicos mediante la utilización de aerogeneradores de potencia inferior a los 100 kW. De acuerdo con las normas internacionales, los molinos de esta tecnología deben tener un área de barrido que no supere los 200 m².



Imagen 9. Minieólica

Esta tecnología cuenta con una serie de ventajas:

- Permite el suministro de electricidad en lugares aislados y alejados de la red eléctrica.
- Genera energía de manera distribuida (Microgeneración distribuida) reduciendo de este modo las pérdidas de transporte y distribución.
- Produce electricidad en los puntos de consumo, adaptándose a los recursos renovables y a las necesidades energéticas de cada lugar.
- Puede combinarse con fotovoltaica en instalaciones híbridas.

Tecnología

En la actualidad, se está trabajando en nuevos convertidores electrónicos de alta eficiencia, diseñados específicamente para minieólica, en los que el sector aplica los últimos avances y mejoras tecnológicas de cara a una efectiva conexión a la red.

El sector también está desarrollando importantes avances en los aerogeneradores que utiliza. Los aerogeneradores horizontales modernos, necesitan estar orientados en la dirección del viento, bien sea de forma manual o mediante el uso de un mecanismo de control. Las turbinas de eje vertical, no necesitan tal sistema de control; siendo indiferente de qué lado sople el viento, la posición del rotor siempre es la correcta.

En la actualidad se trabaja en nuevos aerogeneradores de eje horizontal, especialmente en escalas de potencia donde no hay oferta a nivel nacional (de entre 15 y 100 kW), que son más apropiados para explotaciones agrícolas, ganaderas o polígonos industriales; y en otros de eje vertical para aplicaciones integradas, destinados principalmente a edificios.



Imagen 10. Minieólica y Fotovoltaica

2.3. Palas Aerogeneradores

Las palas deben suelen ser fabricadas con materiales con gran resistencia estructural y a la fatiga para su correcto, teniendo en cuenta que estarán afectadas de inclemencias climáticas, fuerte vientos y en los casos de aerogeneradores offshore a salinidad. Además deben ser fácilmente mecanizables para dotarlas de un diseño aerodinámico que minimice las cargas sobre el resto de la estructura y capte eficazmente la fuerza del viento.

Son unas de las partes más importantes por no decir la más importante ya que son las encargadas de recoger la energía del viento, convertir el movimiento lineal de este en un movimiento de rotación. Esta energía es transmitida al buje, del buje pasa a un sistema de transmisión mecánica y de ahí al generador que transforma el movimiento de rotación en energía eléctrica. El diseño de las palas es muy parecido al del ala de un avión.

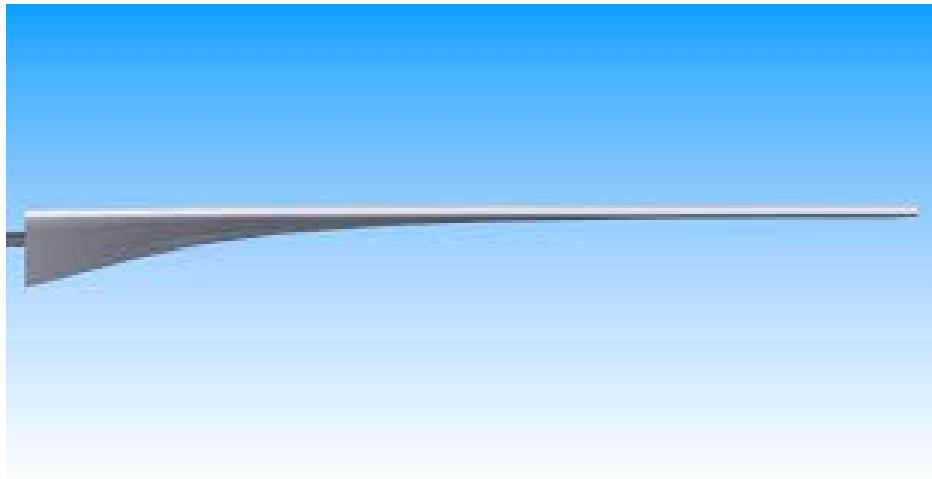


Imagen 11. Pala

Los requisitos que debe cumplir la pala para que todo este correcto son:

- Tener una resistencia estructural adecuada a las condiciones de trabajo a las que va a ser sometida.
- Resistencia a fatiga (en particular a tensiones alternas debidas a vibraciones).
- Rigidez.
- Peso bajo.
- Facilidad de fabricación.
- Resistencia a agentes medioambientales (erosión, corrosión).

2.3.1. Materiales

Los materiales empleados para cumplir todas estas premisas son materiales compuestos en muchos casos por diversos componentes:

- **Aleaciones de acero y de aluminio**, que tienen problemas de peso y de fatiga del metal, respectivamente, son actualmente usadas sólo en aerogeneradores muy pequeños.
- **Fibra de vidrio reforzada con resina poliéster**, para la mayoría de las modernas palas de rotor de grandes aerogeneradores.
- **Fibra de vidrio reforzada con resina epoxy**, en forma de láminas preimpregnadas. Palas más ligeras, mayor flexibilidad, menor deformación bajo temperaturas extremas, excelente resistencia a la absorción de agua.
- **Fibra de carbono o aramidas** como material de refuerzo en tiras por sus buenas propiedades mecánicas. Alta resistencia específica, palas muy ligeras. Normalmente estas palas son antieconómicas para grandes aerogeneradores.
- **Mixtos fibra de vidrio-fibra de carbono.**
- **Materiales compuestos de madera, madera-epoxy**, o madera-fibra-epoxy, aún no han penetrado en el mercado de las palas de rotor, aunque existe un desarrollo continuado en ese área.
- **Nylon inyectado.**

2.3.2. Ensayos a los que se someten las palas

Test a estática: las palas son sometidas a cargas extremas durante un tiempo predeterminado (10-15s), para probar su resistencia a la rotura: son flexionadas en dos direcciones utilizando un ciclo próximo a la frecuencia natural de la pala en cada dirección.

Test dinámico: se somete a la pala a oscilaciones correspondientes con su frecuencia natural: cinco millones de ciclos respecto de los dos ejes principales. Durante las pruebas una cámara de infrarrojos de alta resolución se usa para chequear si hay pequeñas roturas en el laminado de la pala y se registran las medidas de deformación procedentes de galgas extensiométricos colocadas sobre la superficie de la pala.

Test de rotura: cuando se usa un nuevo material o se ha realizado un cambio significativo en el diseño de la pala, se realiza adicionalmente un test de rotura, que no es más que llevar el test estático al caso extremo, aplicando una carga estática creciente en valor hasta lograr que la pala rompa, realizando los análisis posteriores de la superficie de fractura.

Inspección con infrarrojos (Termografía) se utiliza para revelar un aumento de calor local en la pala. Esto puede indicar:

- a) Un área con humedecimiento estructural.
- b) Un área de laminación o un área que se está moviendo hacia el punto de rotura de las fibras.

2.4. Bancos de Ensayos

Ciemat (Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas) ha desarrollado en el CEDER (Centro de Desarrollo de Energías Renovables) un banco de ensayos de palas de aerogenerador dentro del sector de la mini-eólica, con el fin de realizar ensayos de propiedades físicas, estáticos y dinámicos a palas en el entorno de entre 1 m y 10 m de longitud.

Idom ha diseñado y desarrollado el banco de ensayos completo, incluido su sistema de control y adquisición de datos. El resultado destaca por su versatilidad ya que permite la realización de diferentes tipos de ensayos para todo el rango de palas solicitado.

Se ha logrado, además, un sistema de control y adquisición de datos robusto y fiable, y un interfaz de usuario que ofrece un entorno cómodo para el control y monitorización de los ensayos.

Otra particularidad del sistema de control obtenido es su modularidad, que facilita la realización de modificaciones. Esto ha permitido la implantación de una primera versión que ya permite la realización de ensayos estáticos, y la posterior ampliación que se está llevando a cabo para realizar ensayos dinámicos.

Los equipos de NI han aportado unas altas prestaciones al sistema en cuanto a niveles de fiabilidad, estabilidad y precisión.

La realización de los ensayos estáticos se basa en la aplicación de cargas discretas sobre la pala con el fin de validarla ante las cargas últimas de diseño o simplemente de realizar optimizaciones de diseño. El sistema de control en tiempo real consigue realizar el tiro de manera sincronizada en todos los puntos de amarre, siguiendo una consigna previamente introducida.

Los ensayos dinámicos tienen como fin obtener, en un tiempo reducido, un daño equivalente al que sufriría la pala mediante su uso normal durante su vida útil.

MEDIDAS	SENSORES
Desplazamiento	Sensores de desplazamiento para reflejar el movimiento de varias secciones de la pala.
Vibración	Acelerómetros
Temperatura	Termopares
Extensometría	Galgas extensimétricas configurables en conexión de puente completo, $\frac{1}{2}$ puente o $\frac{1}{4}$ puente.
Fuerza	Células de carga de varios rangos, con hasta 3 puntos de aplicación en un ensayo.
Condiciones ambientales	Sensor de temperatura ambiente Sensor de humedad relativa

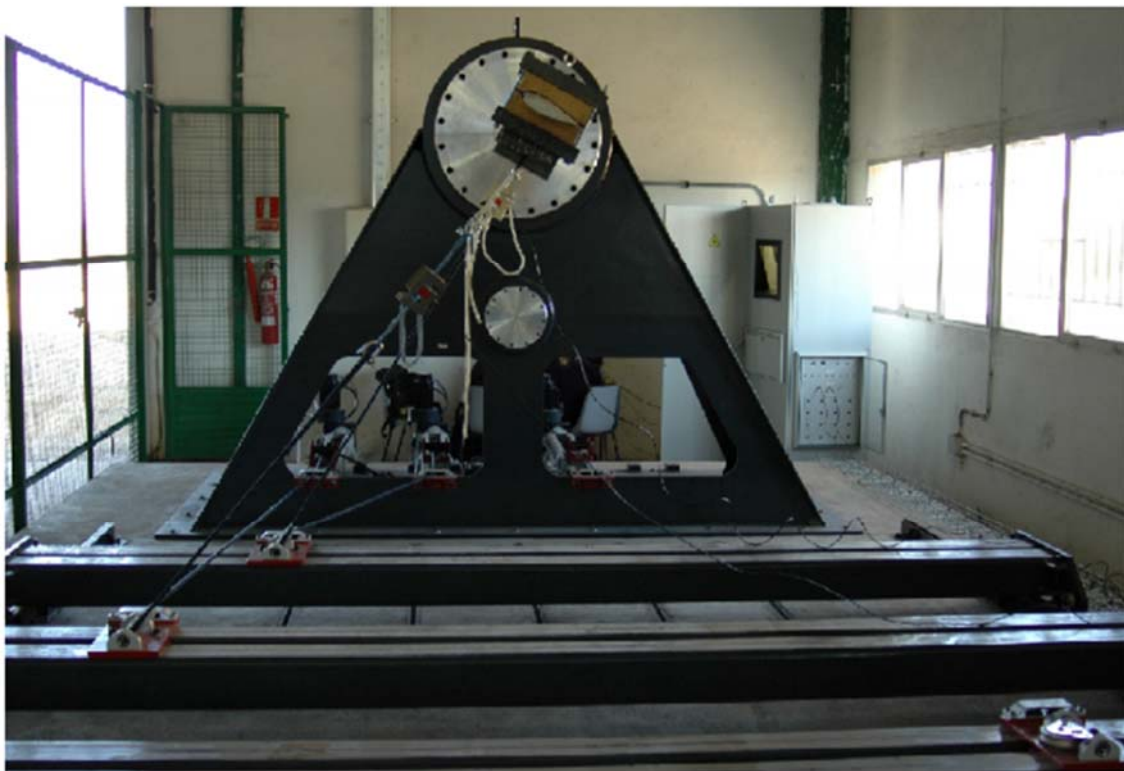


Imagen 12. BEPPA

3. Desarrollo y Resultados

3.1. Limitaciones y Requerimientos

En la elaboración del diseño del bastidor y en su dimensionamiento, se tienen en cuenta una serie de limitaciones existentes y unos requerimientos que se han marcado como objetivos a cumplir.

3.1.1. Dimensiones maquina Tracción

Para la realización de los ensayos se utiliza una maquina ya existente de tracción, la cual tiene unas dimensiones de trabajo máximas. Estas limitan las dimensiones del bastidor el cual será adaptado, para realizar dichos ensayos.

Alto máximo = 2000 mm

Alto mínimo = 1000 mm

Ancho = 575 mm

3.1.2. Movilidad

Con la intención de que el bastidor sea fácil de mover de un lado para otro y no moleste cuando no esté en funcionamiento. Se ha diseñado el bastidor con perfiles normalizados unidos mediante soldadura, consiguiendo una estructura resistente y poco pesada. Con la idea de facilitar el desplazamiento del bastidor, se han incorporado cuatro ruedas móviles con freno en la base.

3.1.3. Carga máxima

Para que el bastidor tenga un correcto funcionamiento y no se produzca ninguna deformación permanente en toda su estructura, se realiza un análisis estático. Simulando un ensayo real de la máquina de tracción-compresión por medio de SOLIDWORKS.

La máquina IBERTEST modelo ELIB 50, tiene una capacidad de carga máxima de 5000 Kg. Esta carga se aplicara a lo largo de la superficie de la pala como si fuese una presión ejercida por el viento.

Carga máxima = 5000 Kg

Gravedad = 10 m / s^2

Fuerza máxima = 5000 N

Presión máxima = 50000 N / m^2

Densidad del aire = $1,2 \text{ Kg / m}^3$

Relación velocidad viento:

$$P = \frac{1}{2} \times D \times V^2$$

$$V^2 = \frac{P \times 2}{D}$$

$$V = \sqrt{\frac{P \times 2}{D}}$$

$$V = \sqrt{\frac{50000 \times 2}{1,2}} = 288,675 \frac{m}{s}$$

$$V = 285,92 \frac{m}{s} \times 3,6 = 1039,23 \frac{Km}{h}$$

3.2. Material

El material para todas las piezas que forman el bastidor es el mismo, un acero AISI 1020. Se opta por este material por su límite elástico y por no tener un coste demasiado elevado. Se trata de un acero estructural frecuentemente utilizado para la fabricación de estructuras y/o maquinaria.

ACERO AISI 1020

PROPIEDAD	VALOR	UNIDAD
Módulo Elástico	200000	N/mm ²
Coeficiente de Poisson	0,29	N/D
Módulo Cortante	77000	N/mm ²
Densidad de masa	7900	Kg/m ³
Límite de Tracción	420,51	N/mm ²
Límite Elástico	351,57	N/mm ²
Coeficiente de expansión Térmica	1,5e-005	/K
Conductividad Térmica	47	W/(m·K)
Calor específico	420	J/(Kg·K)

3.3. Diseño del Bastidor

3.3.1. Chasis

En el diseño del chasis se ha utilizado perfilaría normalizada ISO. Utilizando perfil cuadrado de 40x40x4 mm para todo el armazón a excepción de los refuerzos laterales, en los cuales se ha utilizado perfil angular de 25x25x4 mm.

Todo los perfiles utilizados para la construcción del chasis han sido unidos unos con otros por medio de soldadura.

Dimensiones:

Alto = 1250 mm

Largo = 1250 mm

Ancho = 500 mm

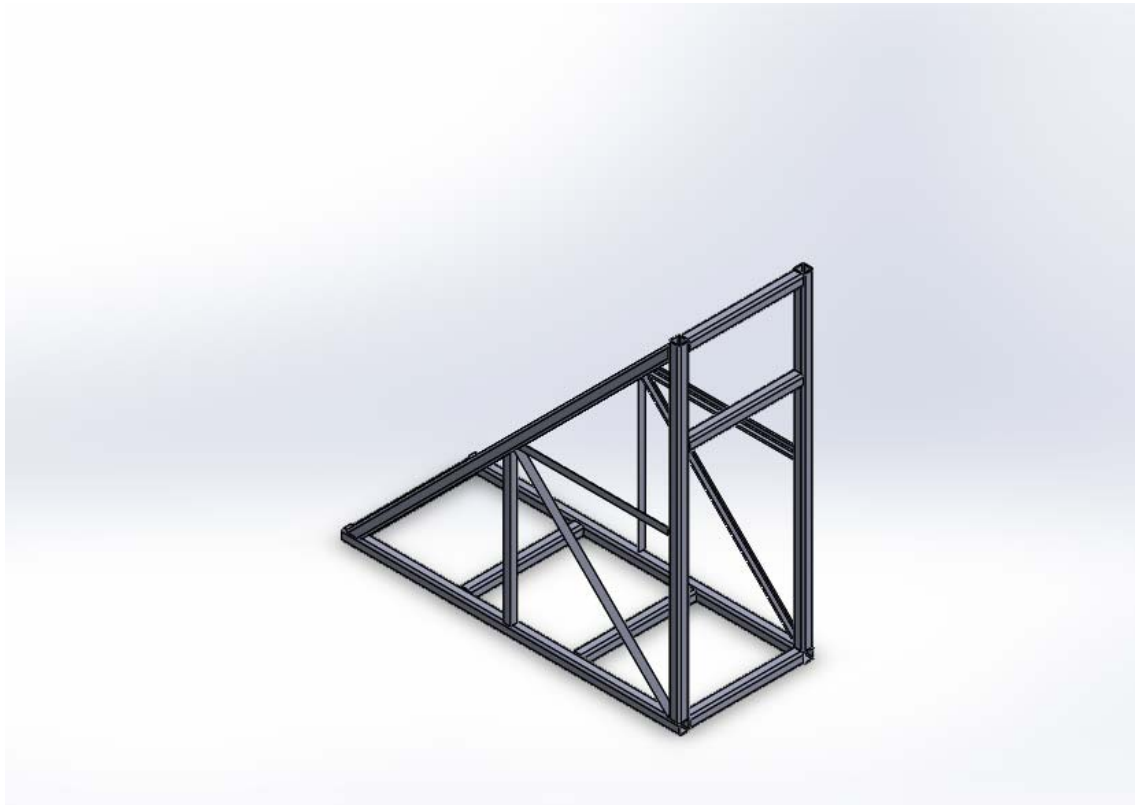


Imagen 13. Chasis

3.3.2. Soporte Cabezal

Con la idea de que el bastidor sea lo más polivalente posible, se ha diseñado de tal forma que el cabezal se puede cambiar de ser necesario. El soporte del cabezal tiene una geometría rectangular con un orificio central, para la sujeción del cabezal va provisto de 8 agujeros.

Alto = 280 mm

Ancho = 420 mm

Espesor = 20 mm

Orificio central $\varnothing = 150$ mm

Agujeros sujeción $\varnothing = 10,20$ mm

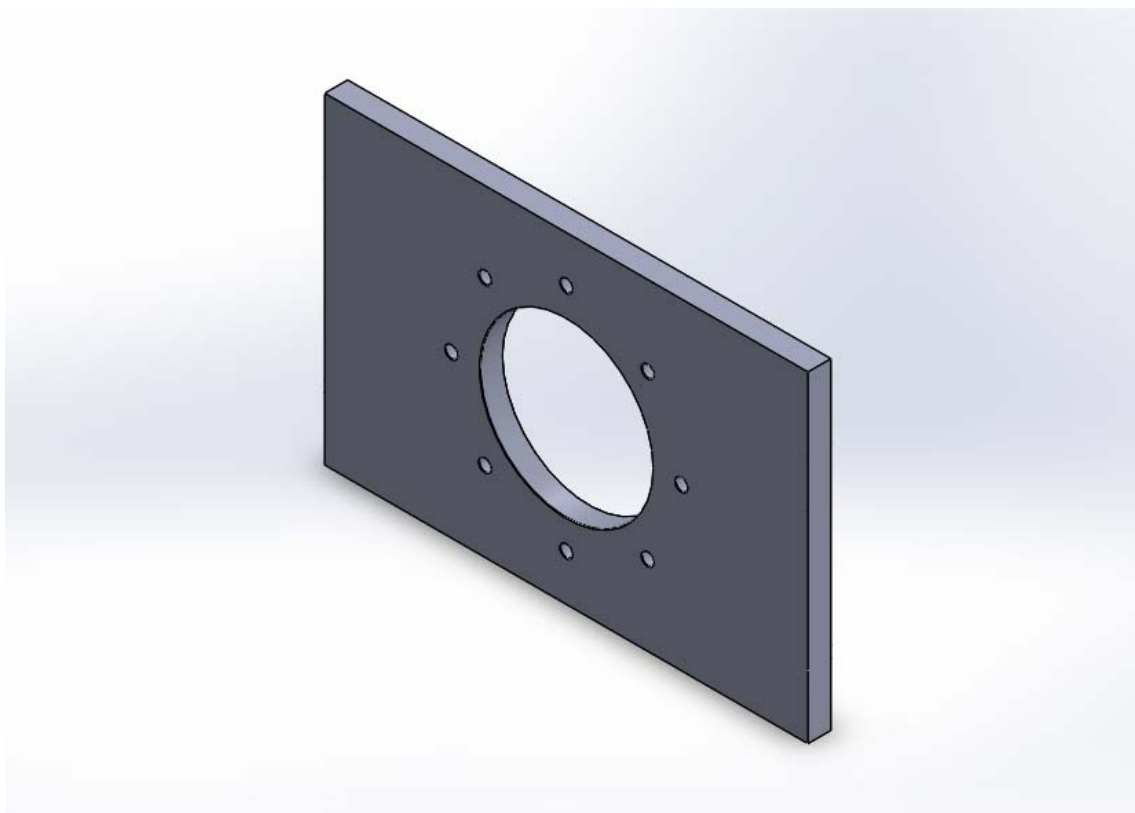


Imagen 14. Soporte Cabezal

3.3.3. Soporte Ruedas

El bastidor tiene 4 soportes soldados para permitir la unión de las ruedas. Llevan un orificio para la unión de las ruedas mediante tornillería.

Orificio $\varnothing = 13 \text{ mm}$

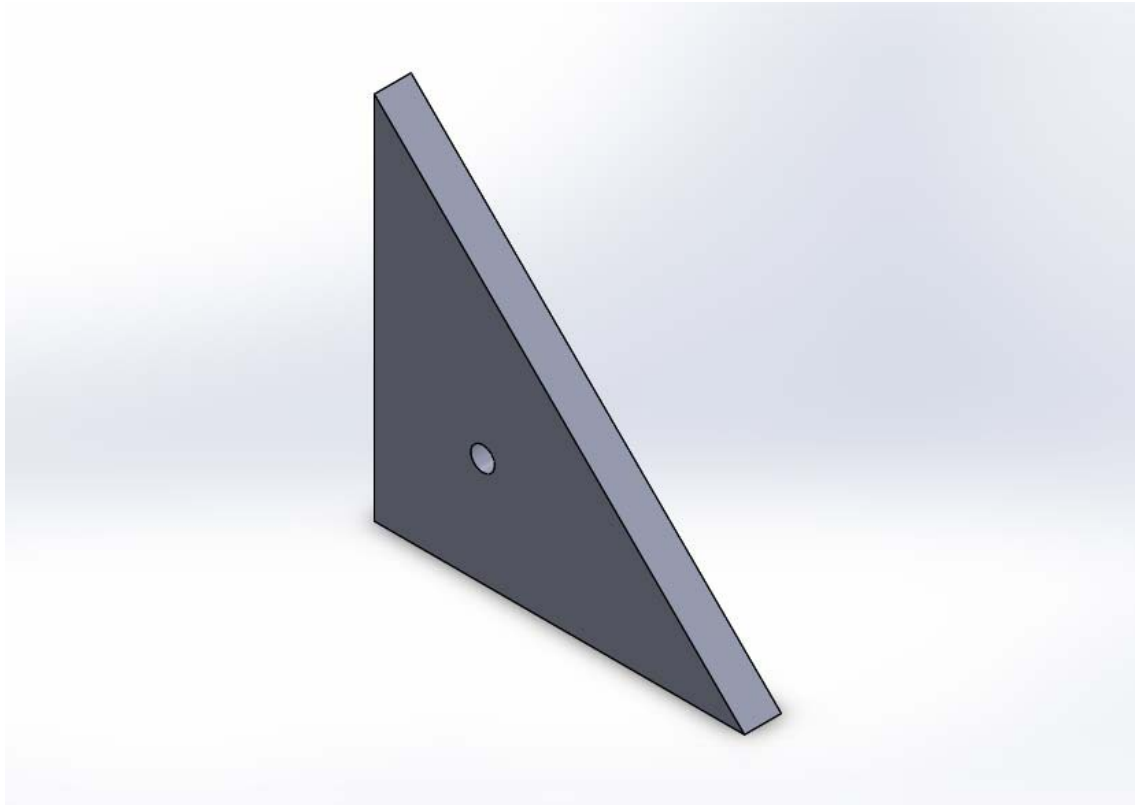


Imagen 15. Soporte Ruedas

3.3.4. Cabezal

El cabezal es el encargado de sujetar las palas al bastidor. Debido a la existencia de diferentes modos de sujeción de palas a aerogeneradores, se decide realizar un cabezal de tal forma que sea lo más universal posible. Dando la posibilidad de sujetar las diferentes palas que existen en el mercado.

Tiene 8 agujeros para la unión con el soporte del cabezal y un orificio central para el acoplamiento de la pala directamente o de los diferentes casquillos.

Ø Cabezal = 250 mm

Ø Orificio central = 100 mm

Espesor = 40 mm

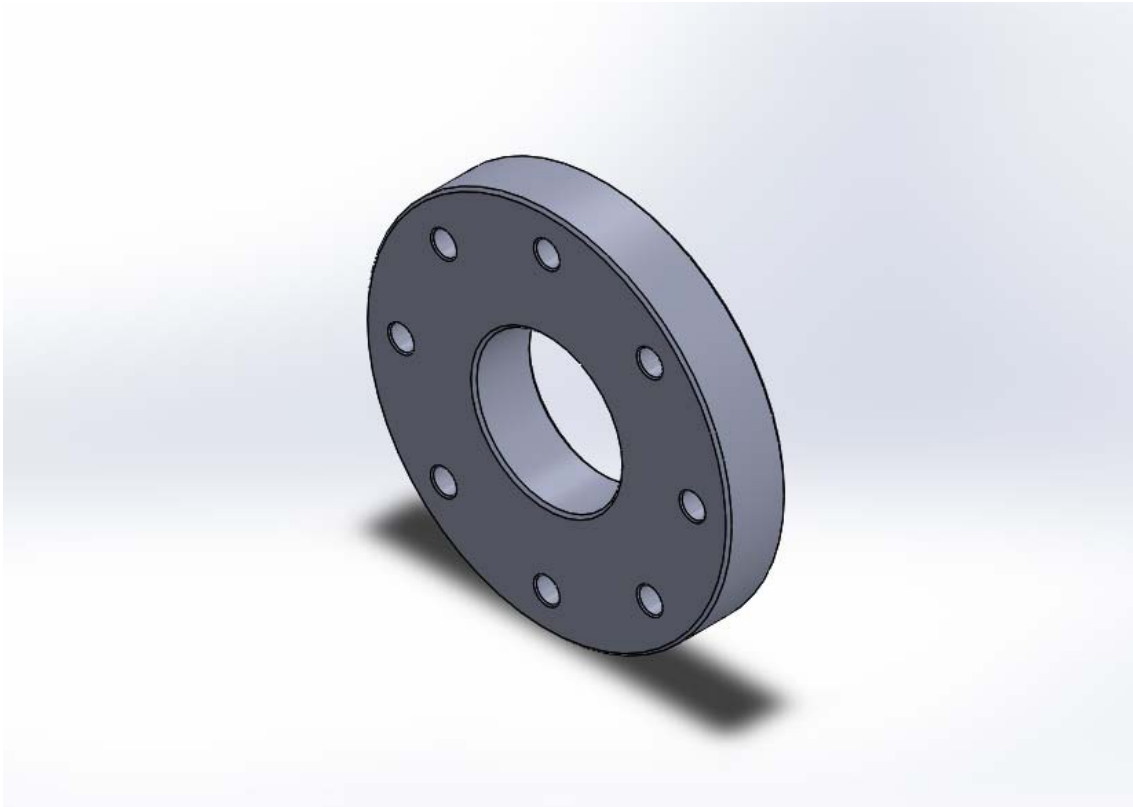


Imagen 16. Cabezal

3.3.5. Base Contrapeso

Como es bastidor es móvil y no está fijado al suelo, cabe la posibilidad que al aplicar cargas elevadas cuando se realicen ensayos, este pudiera ceder hacia adelante. Para evitarlo en la base del bastidor se incorpora una chapa metálica, con la función de aguantar los contrapesos.

Ancho = 436 mm

Largo = 442 mm

Espesor = 5 mm

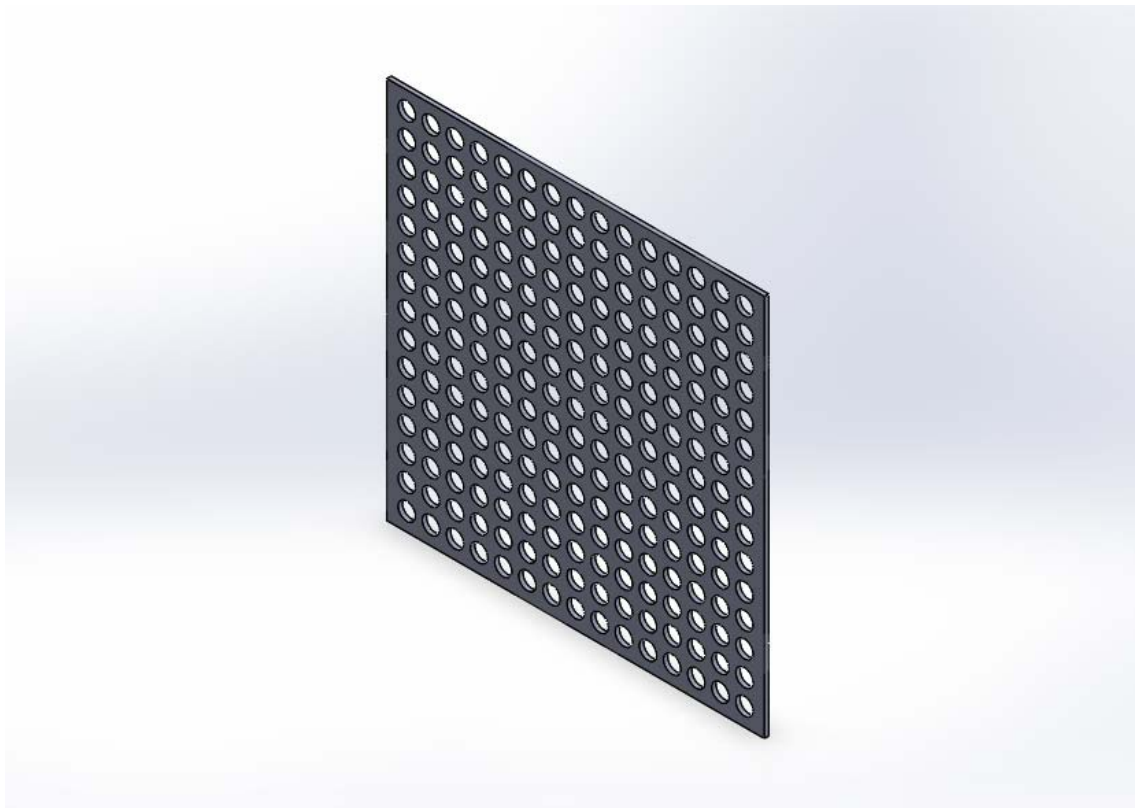


Imagen 17. Base Contrapeso

3.4. Ensamblaje

Paso 1

Unión del soporte del cabezal al chasis por medio de soldadura. Se aplica un cordón de soldadura de 5 mm, alrededor de todo el perímetro interior y exterior que está en contacto con el chasis.

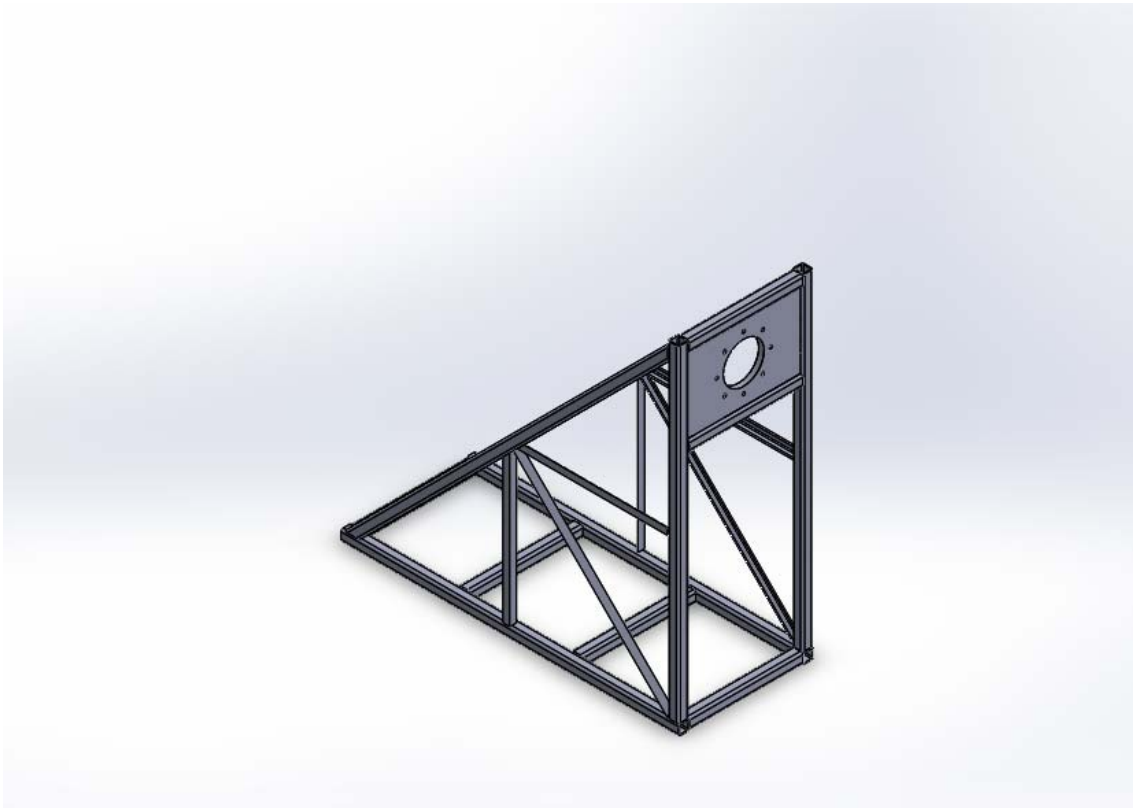


Imagen 18. Paso 1

Paso 2

Unión de los 4 soportes para las ruedas al chasis por medio de soldadura. Se aplica un cordón de soldadura de 5 mm, alrededor de todo el perímetro que está en contacto con el chasis.

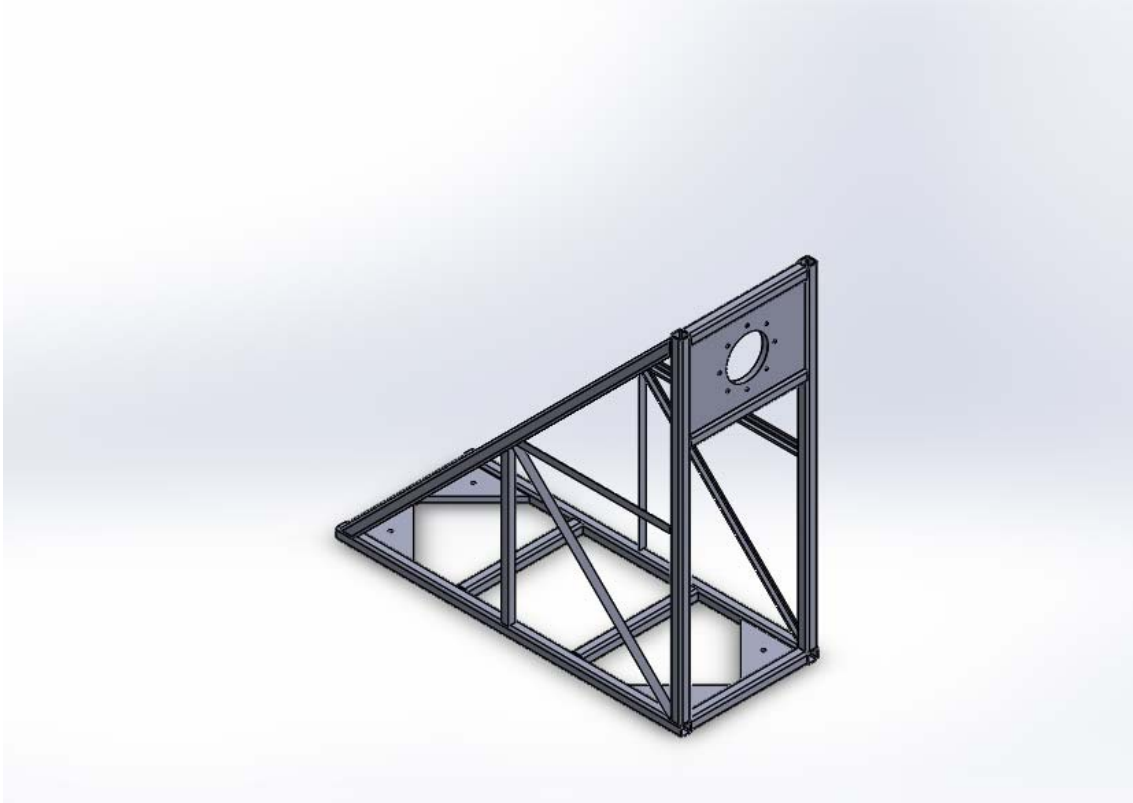


Imagen 19. Paso 2

Paso 3

Fijación del cabezal al soporte del cabezal soldado en el chasis. La unión se realiza mediante medio de 8 Tornillos cabeza Allen de M10x80 mm con sus respectivas arandelas y tuercas.

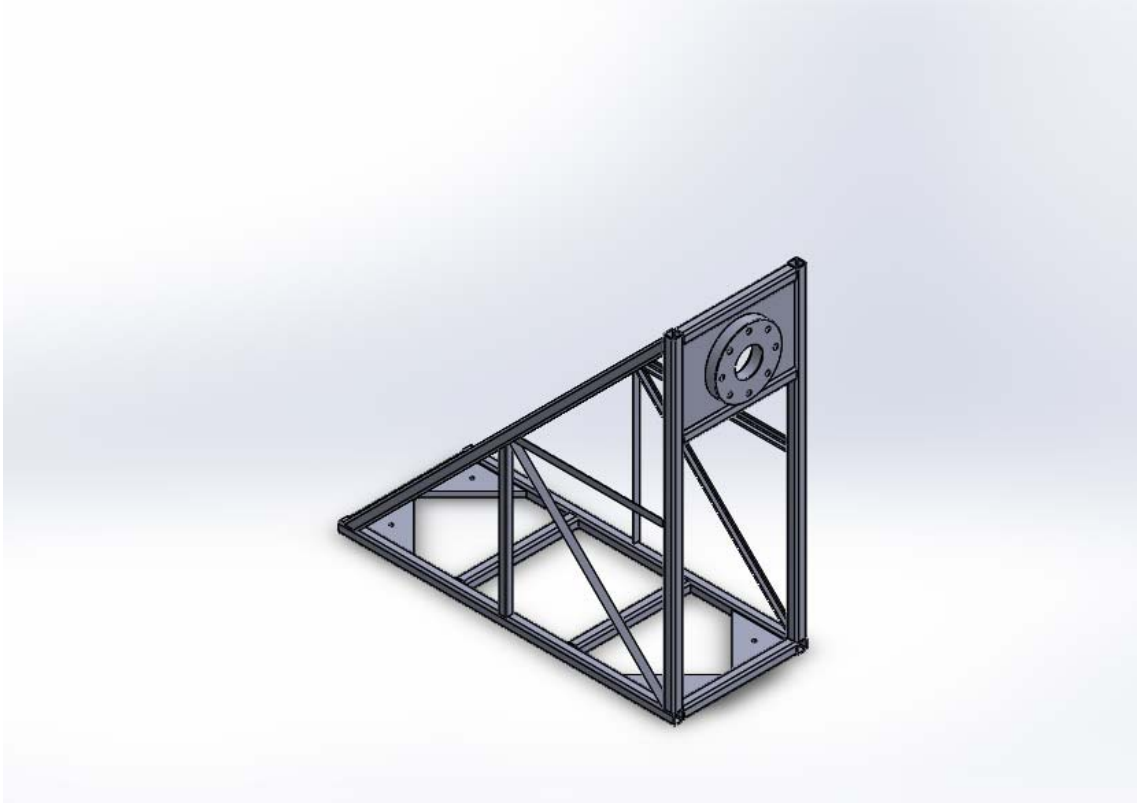


Imagen 20. Paso 3

Paso 4

Fijación de las 4 ruedas móviles a los soportes inferiores soldados en el chasis. La unión se realiza mediante 4 tornillos cabeza Allen de M12x50 mm con sus respectivas arandelas y tuercas.

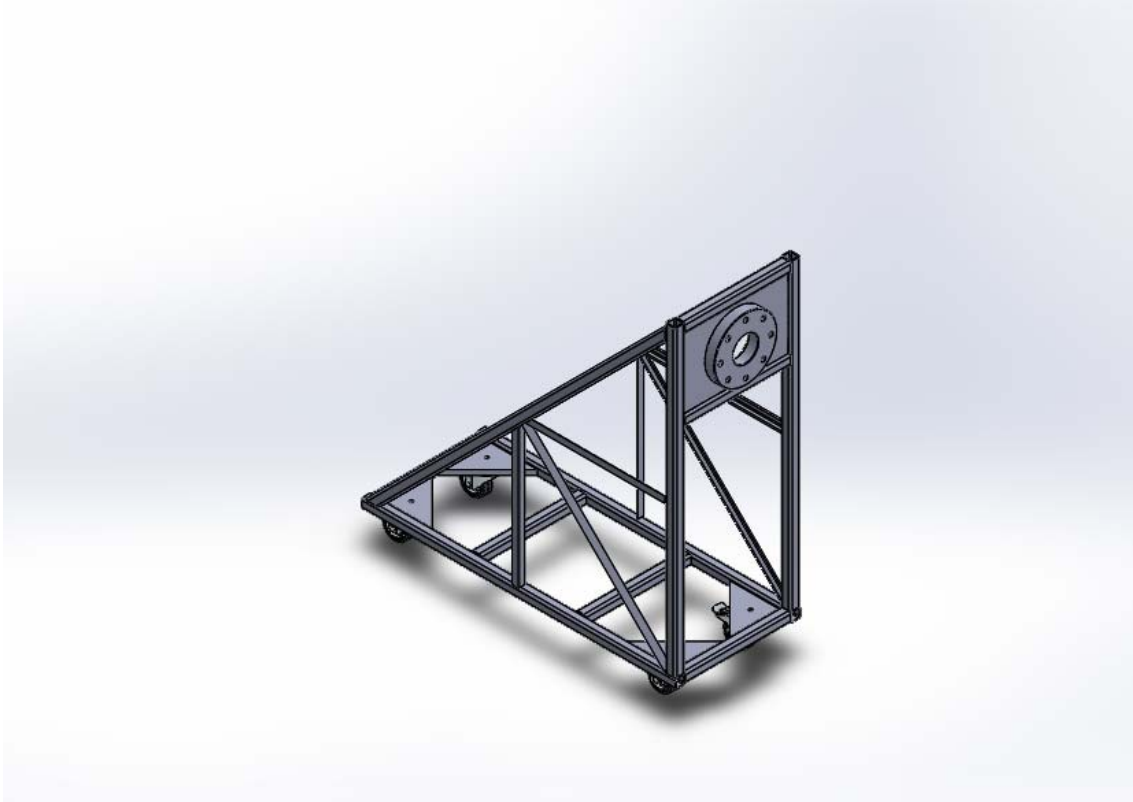


Imagen 21. Paso 4

Paso 5

Unión de la base para el contrapeso al chasis. La unión se realiza mediante un cordón de soldadura de 5 mm alrededor de todo el perímetro de la base en contacto con el chasis.

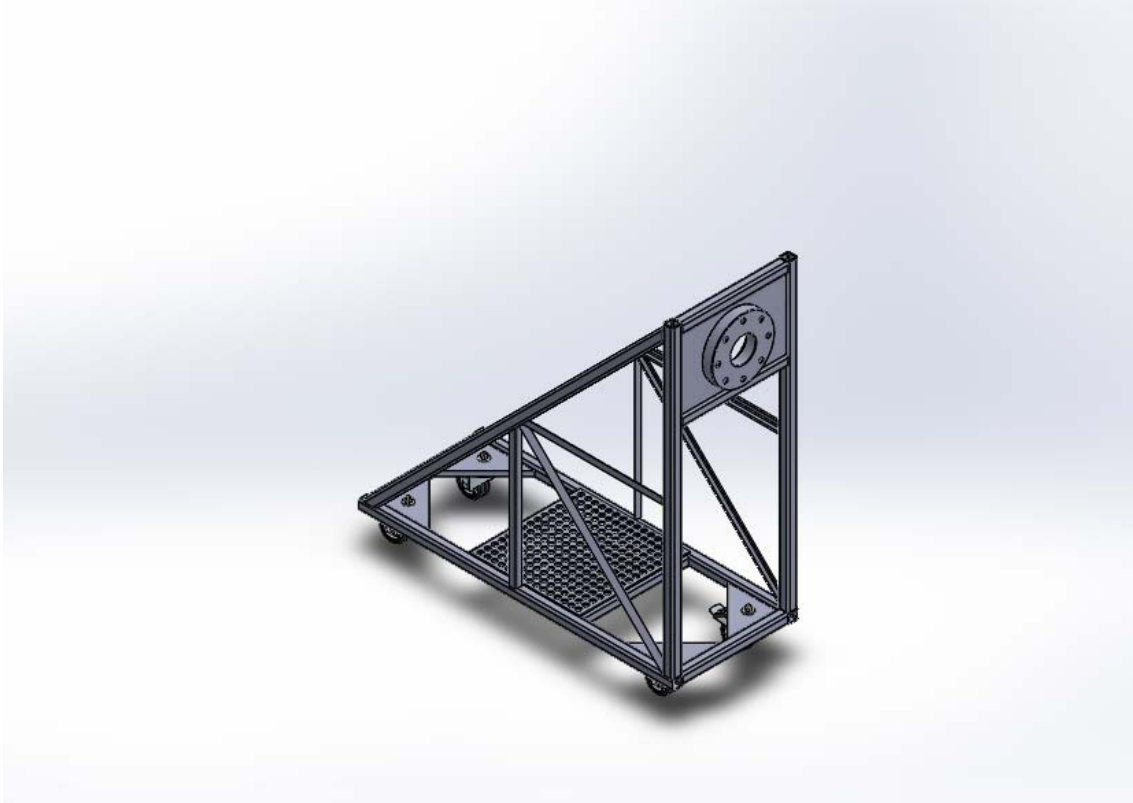


Imagen 22. Paso 5

3.5. Simulación

Aplicación de Fuerzas y Fijaciones

Se aplica una carga de 50000 N en un solo punto de la pala situado en el extremo de esta, que no está en contacto con el cabezal. Para simplificar la simulación se eliminan las ruedas del bastidor, aplicando un tipo de sujeción fija en la base que quedaría en contacto con el suelo.

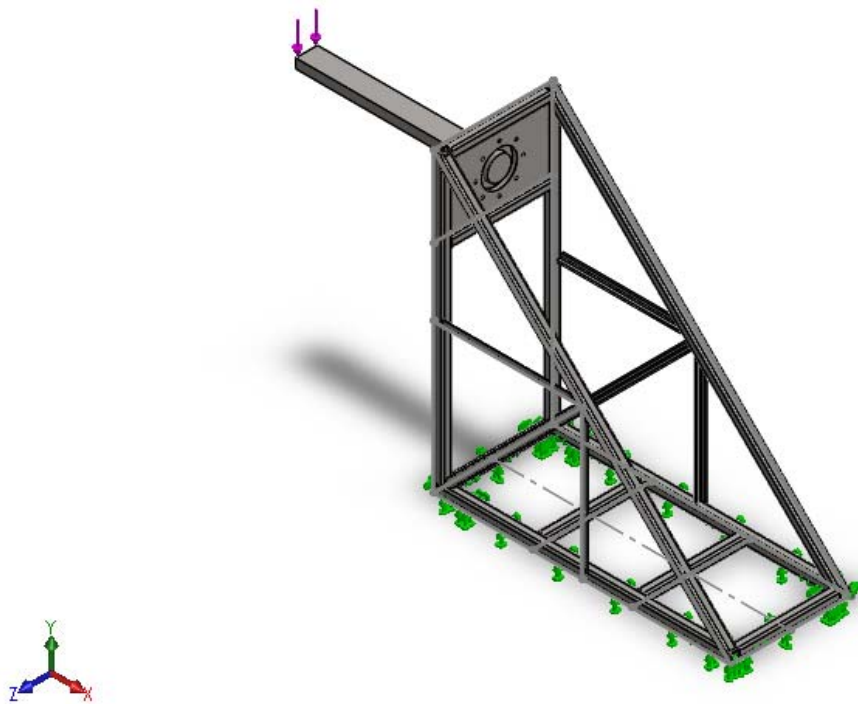


Imagen 23. Fuerza y Fijaciones

Mallado

Para poder realizar la simulación del análisis estático en SOLIDWORKS, es necesario mallar todo el ensamblaje una vez se han introducido todos los parámetros de fuerza, fijaciones, materiales, etc. La malla tiene un tamaño mínimo de 8 mm y máximo 40 mm, en función de la complejidad de cada zona.



Imagen 24. Mallado

3.6. Resultados

Tensiones

Tensiones de Von Mises:

- Min = 2101,48 N/m²
- Max = 6,14048e+009 N/m²

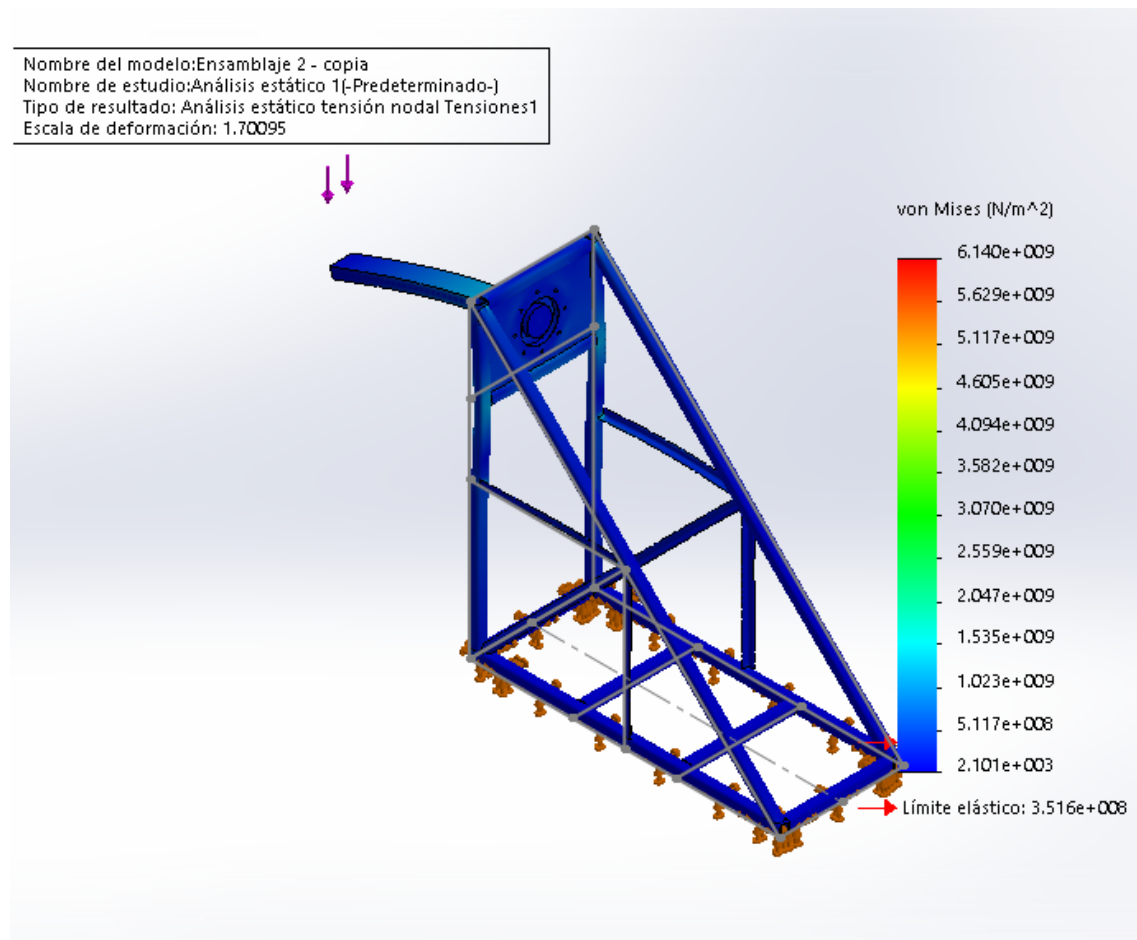


Imagen 25. Tensiones

Desplazamientos

Desplazamientos resultantes (URES):

- Min = 0 mm
- Max = 119,84 mm

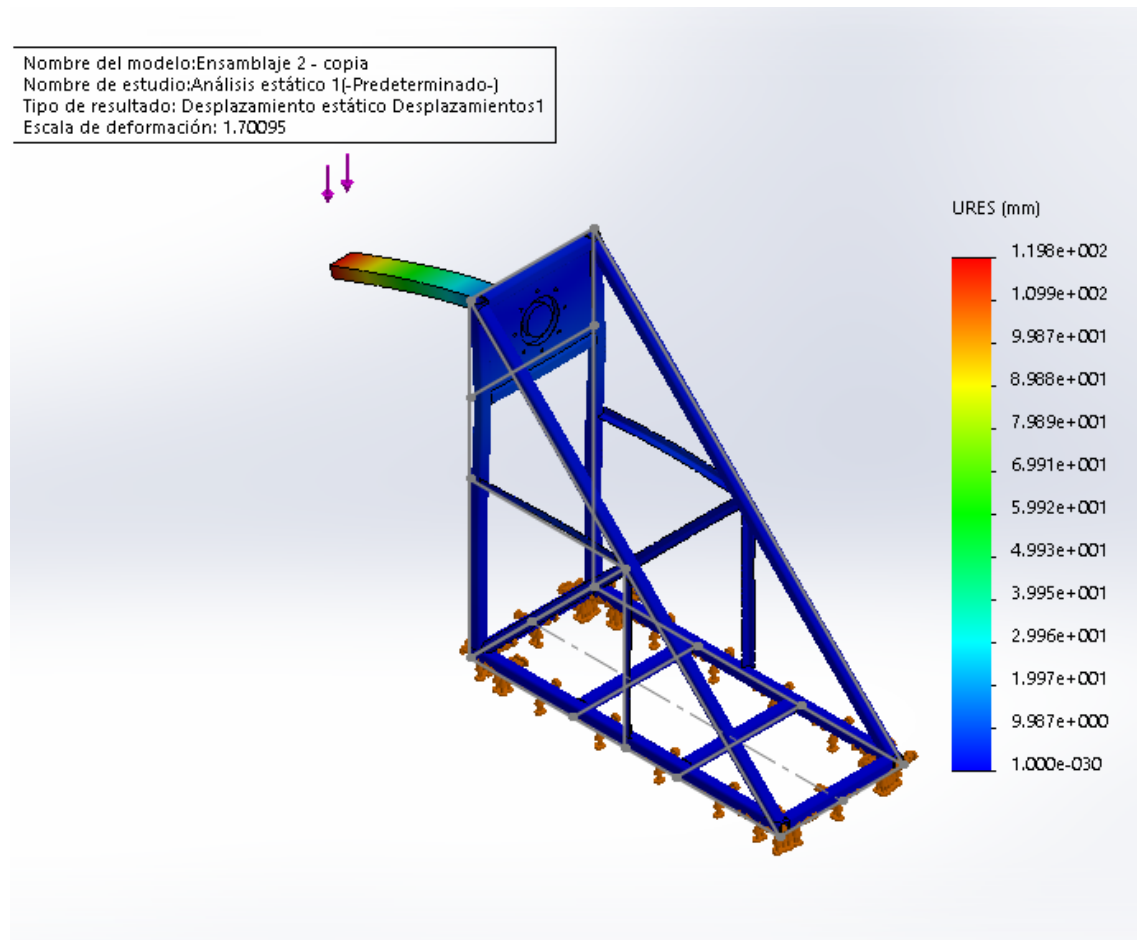


Imagen 26. Desplazamientos

Deformaciones

Deformación unitaria equivalente (ESTRN):

- Min = 9,28836e-009
- Max = 0,0166944

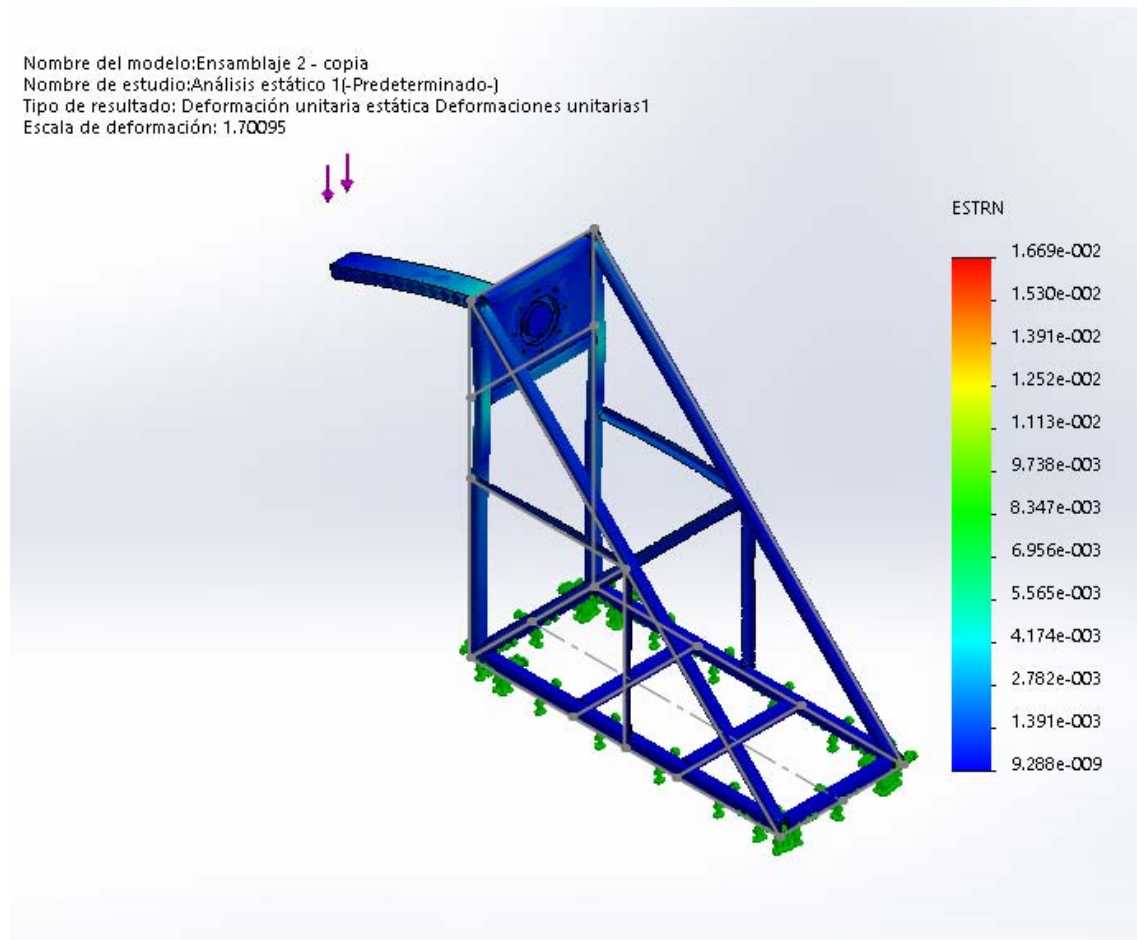


Imagen 27. Deformaciones

Nombre del modelo: Ensamblaje 2 - copia
Nombre de estudio: Análisis estático 1 (-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Deformada Desplazamientos1{1}
Escala de deformación: 1.70095

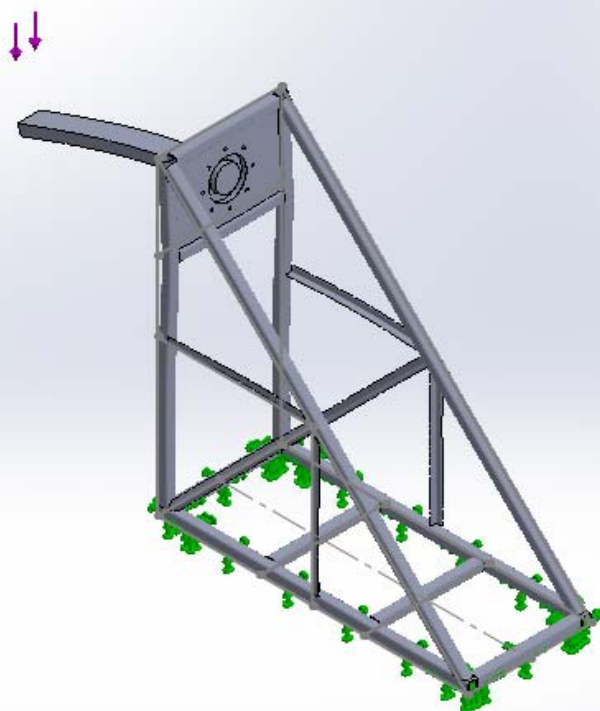


Imagen 28. Deformaciones

4. Experimental

4.1. Materiales

Velo de fibra de vidrio

La fibra de vidrio se conoce comúnmente como un material aislante. También se usa como un agente de refuerzo para conformar material compuesto de polímero reforzado con fibra. Es un material que consta de numerosos filamentos de vidrio, extremadamente finos.

Se conforma a partir de hebras delgadas hechas a base de sílice o de formulaciones especiales de vidrio, extruidas a modo de filamento de diámetro diminuto y apto para procesos de tejeduría.



Imagen 29. Fibra de vidrio

Fibra de Lino

El lino es una fibra natural de origen vegetal, como el algodón o el cáñamo. La fibra preparada para hilar, según su procedencia y clases de enriado, tiene un color blanquecino, rubio, tostado o gris claro. El lino, al igual que el algodón, se compone principalmente de celulosa. La resistencia a la rotura de la fibra de lino, es casi doble que la del algodón.

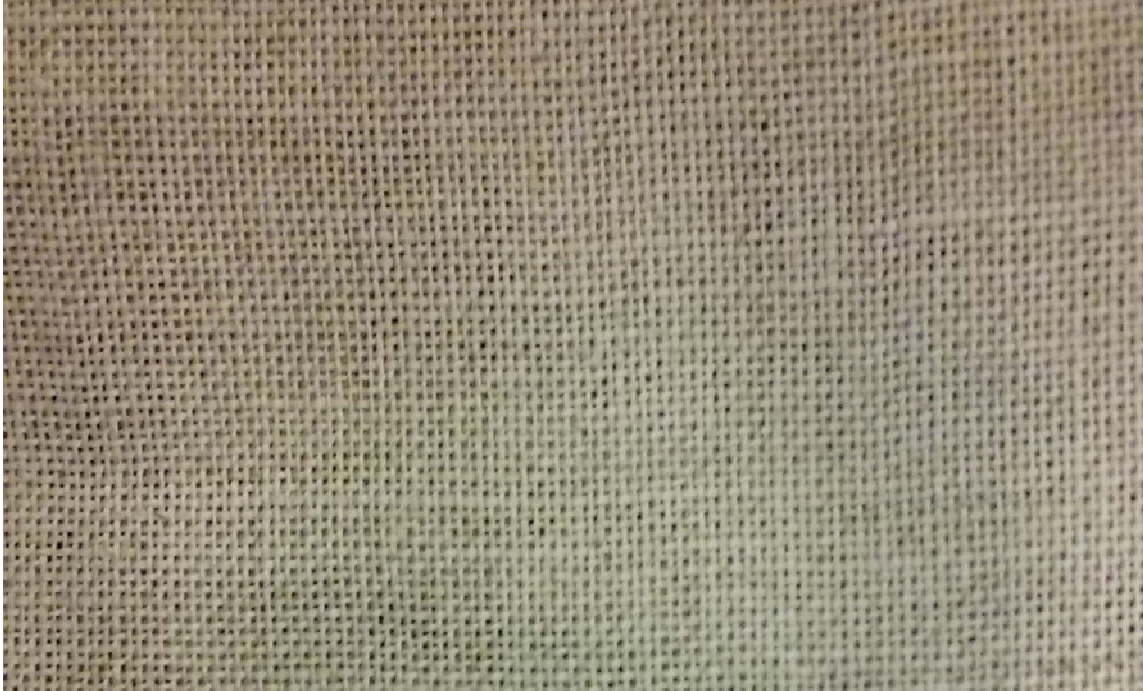


Imagen 30. Fibra de Lino

Resina (Crystic R115 PA)

Resina de poliéster insaturado de tipo ortoftálica, tixotrópica y preacelerada. Ideal para la fabricación de laminados de color blanco con fibras de vidrio tipo mat o tejidos. Indicada para usos generales.



Imagen 31. Crystic R115 PA

Desmoldante (Safelease #30)

El requerimiento de un desmoldante es minimizar el riesgo de adhesión entre el producto moldeado y el molde, además de permitir reproducir fielmente la textura o grabado de la pieza.



Imagen 32. Safelease #30

Iniciador (Catalizador x-8)

Líquido incoloro, consiste en peróxido de metil-etil-cetona, flegmatizado con éster del ácido ftálico. Este peróxido de cetona es usado como iniciador (fuente de radicales) en el curado de resinas de poliéster insaturado.



Imagen 33. Catalizador-X8

Polvo de vidrio

Polvo de color blanquecino, utilizado para realizar la masilla junto a la resina.



Imagen 34. Polímero

4.2. Equipo de trabajo

Autoclave

Una autoclave de materiales compuestos es un recipiente o vasija (normalmente en forma cilíndrica) con un sistema de temperatura y presurización, utilizado para curar y consolidar materiales compuestos.

El tamaño y el diseño de la autoclave depende de la aplicación o, lo que es lo mismo, del tipo de piezas a procesar.

Los componentes principales de una autoclave de materiales compuestos son:

- **Cámara presurizada:** Es la vasija propiamente dicha, en la que se introducen los componentes a curar.
- **Dispositivos de calentamiento:** Son los encargados de conseguir las distintas temperaturas de curado para cada tipo de material introducido.
- **Sistema de aplicación de vacío:** Es uno de los componentes más importantes en este tipo de autoclaves, ya que es una parte fundamental para el proceso de fabricación de un laminado de material compuesto. Se encarga de la primera compactación del laminado, elimina componentes volátiles de la resina y permite que se aplique presión sobre la pieza a conformar sin que ésta permanezca en contacto con la atmósfera de la autoclave. Consiste en una membrana delgada plástica, no reutilizable, y una serie de elementos que eliminan la cantidad de resina sobrante y consiguen buenos acabados superficiales de la pieza.
- **Sistema de control de los parámetros de curado:** Asegura en todo momento, mediante sistemas monitorizados, que las condiciones de presión y temperaturas son las adecuadas para el proceso.



Imagen 35. Horno

Bomba de vacío

El método de trabajo de las bombas de vacío es extraer moléculas de gas de un volumen sellado para generar un vacío parcial. Dado que el rango de trabajo es de una presión limitada, la evacuación de los sistemas de vacío se realiza en varias etapas, usando en cada una de ellas una clase de bomba distinta. Las bombas de vacío se caracterizan por tres aspectos fundamentales:

- 1) La presión límite o presión mínima de entrada
- 2) la cantidad de gas evacuado por unidad de tiempo
- 3) el tiempo necesario para alcanzarla.

Estos factores no dependen sólo de la bomba utilizada, sino también del recipiente a evacuar (presión de vapor de sus partes constitutivas, fugas, etc.). El tiempo necesario para obtener la presión límite depende esencialmente de la velocidad de evacuación de la bomba, es decir, del caudal medido a la presión de funcionamiento.



Imagen 36. Bomba vacío

Bolsa para vacío

El nylon es la materia más utilizada en la fabricación de bolsas de vacío. Esto se debe a su excelente resistencia al calor y gran firmeza, combinada con buenas propiedades de elongación. Se utilizan bolsas en tubo o en lámina, generalmente con un espesor de 50 o 75 micras. En algunos casos, si el laminado es muy grande y pesado, es posible usar una bolsa de gran resistencia a las perforaciones de 100 o 125 micras de espesor.

La bolsa tubular se usa con frecuencia para “embolsar” el laminado. La pieza se coloca dentro de un tramo de bolsa tubular abierto en los extremos, por lo que se necesita el sellado de sólo ambos extremos en vez de sellar todo el contorno



Imagen 37. Bolsa de vacío

4.3. Fabricación

A partir de haber construido dos moldes, cada uno correspondiente a cada lado de la pala patrón. Se ha fabricado la pala utilizando dos procesos de fabricación distintos:

- Laminado manual
- Compactación por vacío

4.3.1. Laminado

El moldeo o laminación manual es el método más sencillo para preparar una pieza fabricada con fibras y resina. El proceso se lleva a cabo en un molde abierto, debidamente acondicionado (puliendo el molde y aplicando desmoldante en su superficie de trabajo).



Imagen 38. Preparación molde

Se preparan las tres capas de fibra, una velo de fibra de vidrio (primera capa) y dos de Lino (segunda y tercera capa). Se marca el contorno de la pala dejando un centímetro de material sobrante alrededor de todo el perímetro del molde. Con unas tijeras se recortan las 3 capas.



Imagen 39. Capas de fibra

La resina utilizada se mezcla con un catalizador o endurecedor, de lo contrario, el curado puede llevar días o incluso semanas. A continuación, el molde se moja con la mezcla mediante brochas o pinceles. Las láminas de fibra de vidrio o carbono se colocan sobre el molde y se asientan en el molde con la brocha.



Imagen 40. Primera capa

Del mismo modo se moja la superficie del molde con resina. Y se colocan las láminas de lino. Es importante que las tres capas queden bien mojadas con la resina para que la pala quede bien compacta. Evitando que queden zonas sin cubrir.



Imagen 41. Última capa

4.3.2. Compactación por vacío

El material debe estar firmemente compactado contra el molde, el aire no debe quedar atrapado en medio de las capas de fibra y el molde. Las resinas utilizadas son de baja viscosidad, con el fin de mejorar el impregnado de las fibras.

Una bomba de vacío y una bolsa hermética se utilizan para asegurarse de que la resina entra en todas las capas, que la fibra se moja en todo el espesor del laminado y que las burbujas de aire son eliminadas. El trabajo debe ser hecho con la suficiente rapidez para completar el trabajo antes de que la resina empiece a curar.

Para evitar que la resina se adhiera a la superficie de la bolsa, se cubren los moldes con una sábana de tejido antiadherente.

Se introducen rápidamente tras el laminado, los dos moldes en la bolsa y se cierra herméticamente. Con un sistema de tuberías guiado hasta la bomba comienza el proceso de vacío.

Con la bomba en funcionamiento se aplica una depresión constante de 0,4 bares. El proceso de compactación dura entre 40-60 minutos.



Imagen 42. Barómetro



Imagen 43. Compactación

Transcurrido el periodo de vacío se extraen de la bolsa los moldes y se retira la sabana antiadherente para comenzar el curado de la resina, de este modo el material endurece dándole a la pala rigidez.

4.3.3. Acabado

Para el curado se emplea un horno donde se introducen los moldes, de esta forma el tiempo de curado se reduce. El horno se pone en marcha con una temperatura de 50-60 °C durante un periodo de 30-45 minutos.



Imagen 44. Curado

Cuando pasa ese periodo de tiempo se abre el molde para extraer las palas, separando las capas de fibra ya compactadas de los moldes. Al finalizar el proceso de curado las dos partes de la pala ya tienen la suficiente rigidez para unir una parte con la otra, empleando masilla polimérica elaborada con la propia resina.



Imagen 45. Pala separa del molde

Se corta el material sobrante alrededor de toda la pala, quedando la pala lista para unir ambas partes con la masilla. En un recipiente se vierte la resina con el polímero y se mezclan los dos componentes hasta conseguir una mezcla homogénea, para acelerar el proceso de curado de la masilla, se vierte una pequeña cantidad de catalizador.

Alrededor del borde de una parte de la pala, se aplica una capa de masilla para unir ambas partes del molde. Con unas pinzas puestas alrededor del contorno de la pala se crea presión favoreciendo la unión.



Imagen 46. Unión de las dos partes

Transcurrido unos 30 minutos, la pala ya estaría conformada a falta de pulir la superficie dando a la pala un buen acabado. Con papel de lija se pule la superficie y se elimina la masilla sobrante en los bordes



Imagen 47. Pulido

Para finalizar el proceso de acabado superficial, se laca la superficie con un aerosol negro.



Imagen 48. Lacado

5. Presupuesto y/o estudio económico

Coste Material

Perfil Estructural 40 x 40 x 4 (AISI 1020)			
Barras (ud.)	Longitud (mm)	Peso ud. (Kg)	Peso Total (Kg)
2	1695	6,99078	13,98156
2	1250	5,28111	10,56222
2	1210	5,11212	10,22424
6	420	1,77445	10,6467

Perfil Angular 25 x 25 x 4 (AISI 1020)			
Barras (ud.)	Longitud (mm)	Peso ud. (Kg)	Peso Total (Kg)
4	650	0,780028	3,120112
2	920	1,13541	2,27082

Soporte cabezal (AISI 1020)	
Peso (Kg)	15,684

Cabezal (AISI 1020)	
Peso (Kg)	12,7884

Soporte ruedas (AISI 1020)	
Unidades	Peso total (kg)
4	12,72

Base contrapeso (AISI 1020)	
Peso (Kg)	4,82

Peso total Bastidor = 96,818032 Kg

Precio Acero AISI 1020 = 4 €/Kg

Coste Acero AISI 1020 = 387,27 €

Coste total Ruedas = 60 €

Coste total tornillería = 30 €

Coste Soldar y Cortar

Tiempo = 21,5 horas

Precio hora = 25 €

Coste total = 537,5 €

Coste Torneado/Fresado

Tiempo = 4,5 horas

Precio hora = 30 €

Coste total = 135 €

Coste oxicorte

Tiempo = 2,5 horas

Precio hora = 40 €

Coste total = 100 €

$$C_{Total} = C_{Material} + C_{Ruedas} + C_{Tornilleria} + C_{Soldar} + C_{Torneado} + C_{Oxicorte}$$

$C_{Total} = 387,27 + 60 + 30 + 537,5 + 135 + 100 = 1249,77 \text{ €}$
--

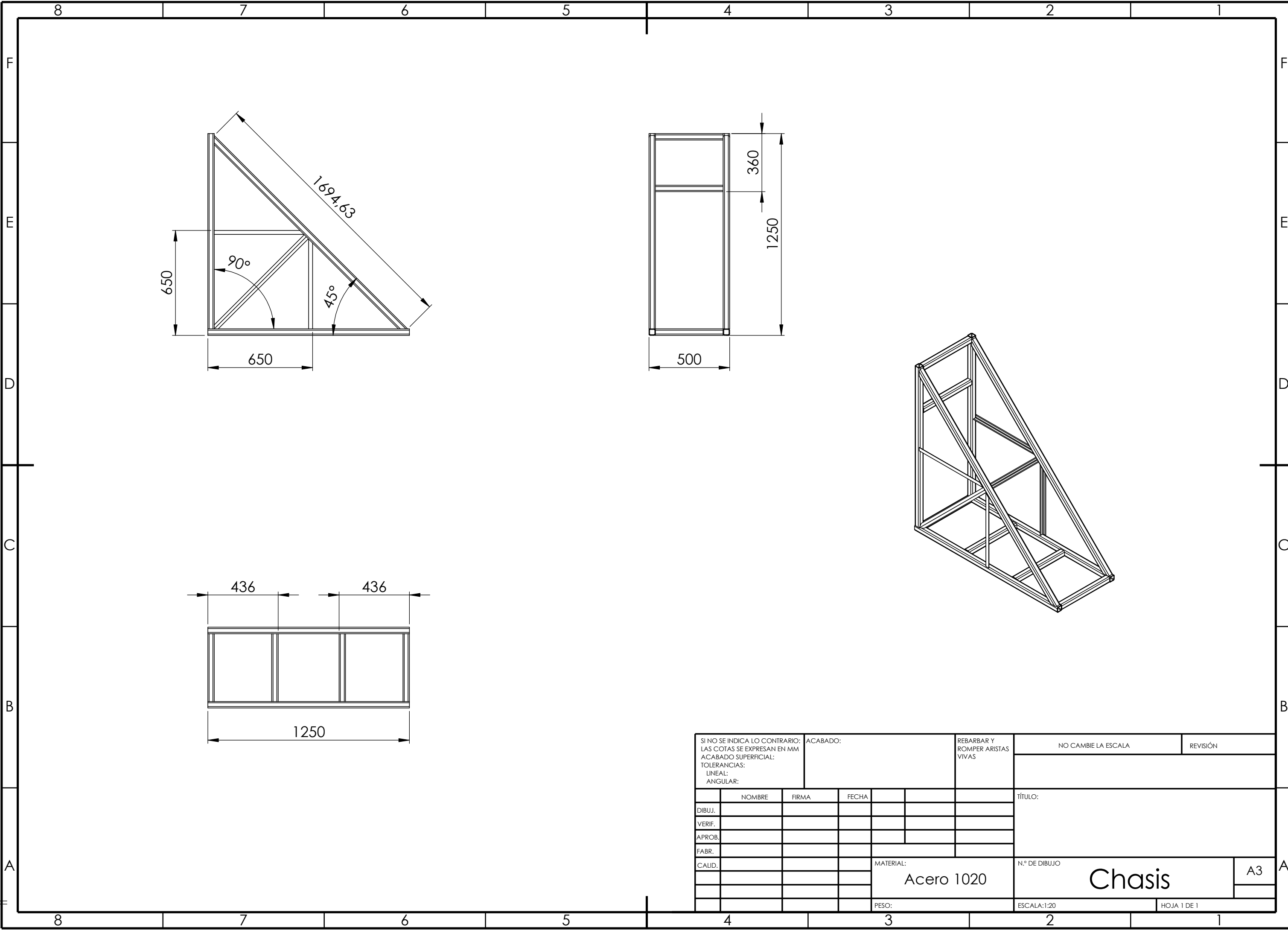
6. Conclusiones

Al haber la necesidad de utilizar cada vez más fuentes de energías renovables, es necesario invertir en I+D+I. Desarrollando nuevas tecnologías y mejorando las prestaciones de las ya existentes.

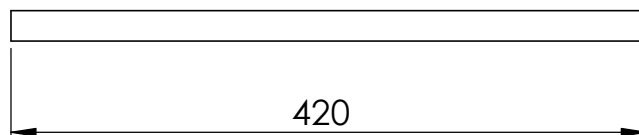
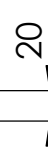
En la minieólica unos de los principales problemas que se presenta, es la capacidad que tienen las palas para soportar las cargas de viento continuas. Estas cargas provocar la flexión de las palas, que podrían golpear contra la torre de ser muy elevada esta flexión provocando la rotura.

Por medio de la realización de ensayos estáticos de carga aplicados a palas de aerogeneradores y observando posteriormente los resultados, se sabe si la pala ensayada aguantara las cargas de viento en condiciones similares al ensayo.

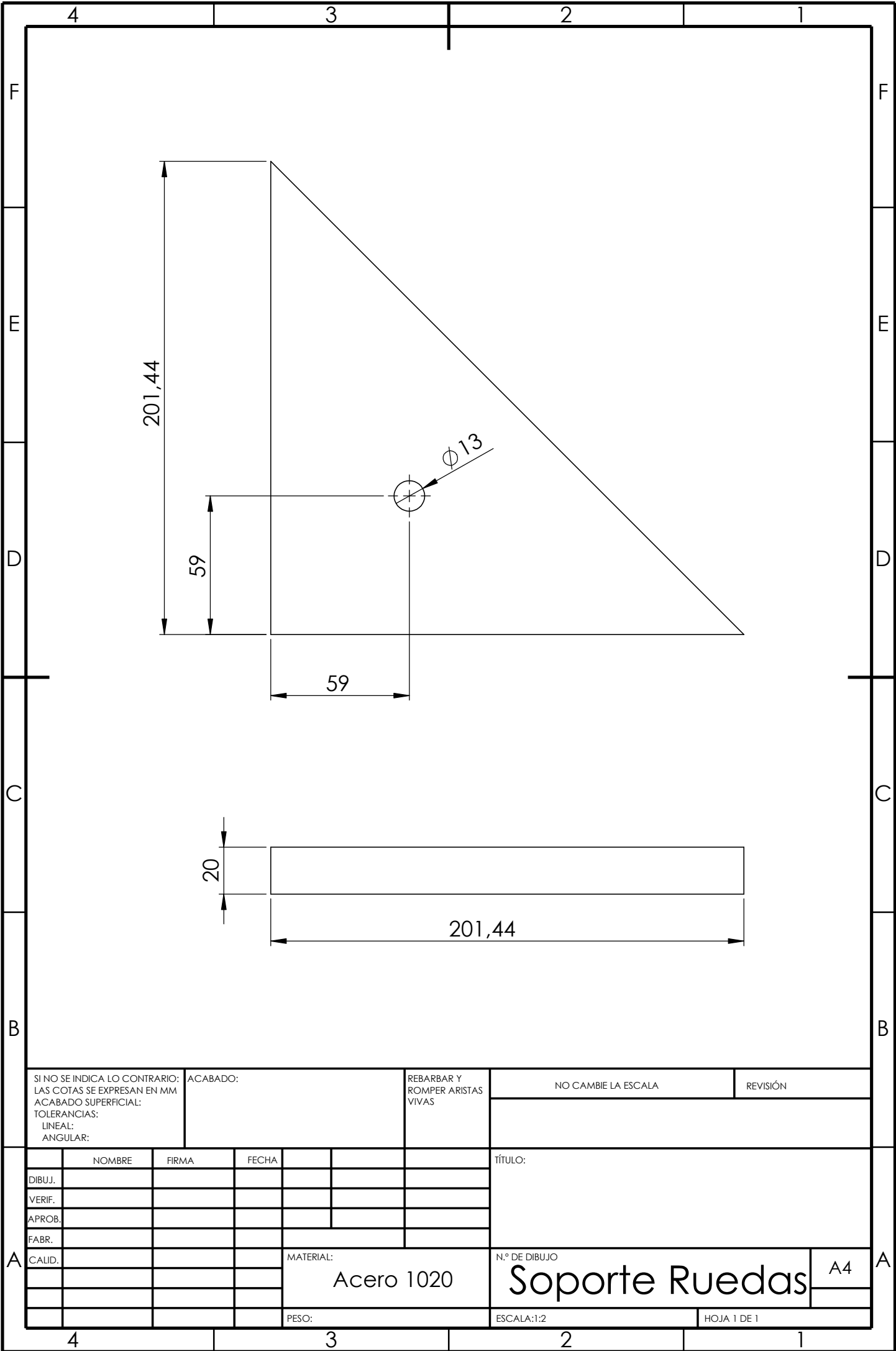
7. Planos



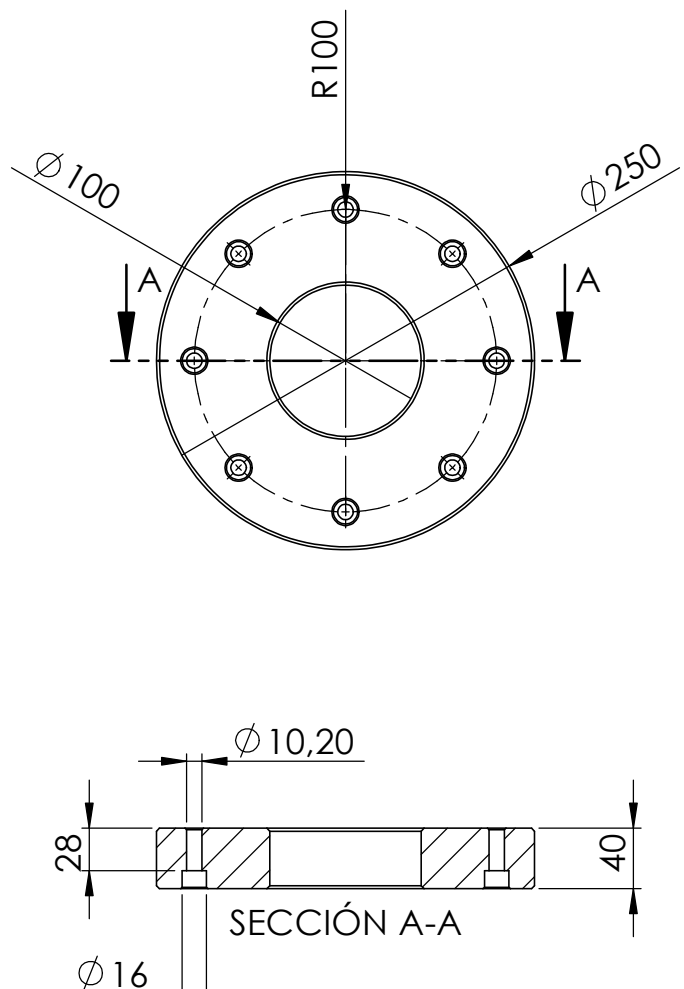
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:				ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN		
	NOMBRE	FIRMA	FECHA				TÍTULO:				
DIBUJ.											
VERIF.											
APROB.											
FABR.											
CALID.				MATERIAL: Acero 1020			N.º DE DIBUJO Chasis				A3
				PESO:			ESCALA:1:20		HOJA 1 DE 1		



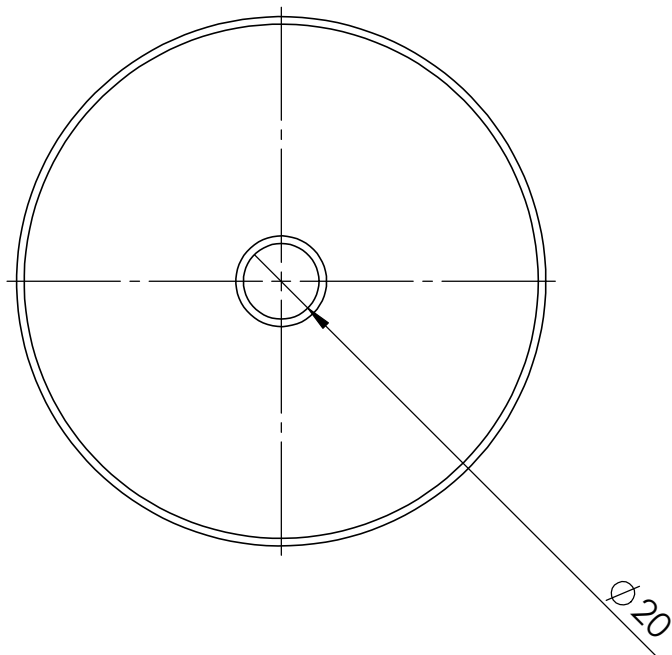
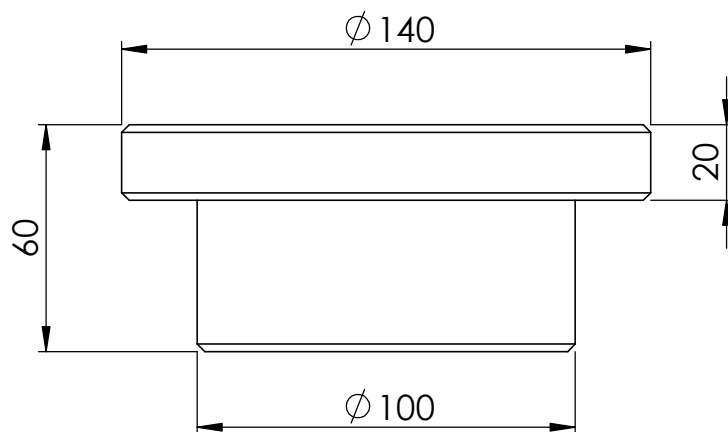
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
	NOMBRE	FIRMA	FECHA			TÍTULO:			
DIBUJ.									
VERIF.									
APROB.									
FABR.									
CALID.									
				MATERIAL:		N.º DE DIBUJO		A4	
				Acero 1020		Soporte Cabezal			
				PESO:		ESCALA:1:5		HOJA 1 DE 1	



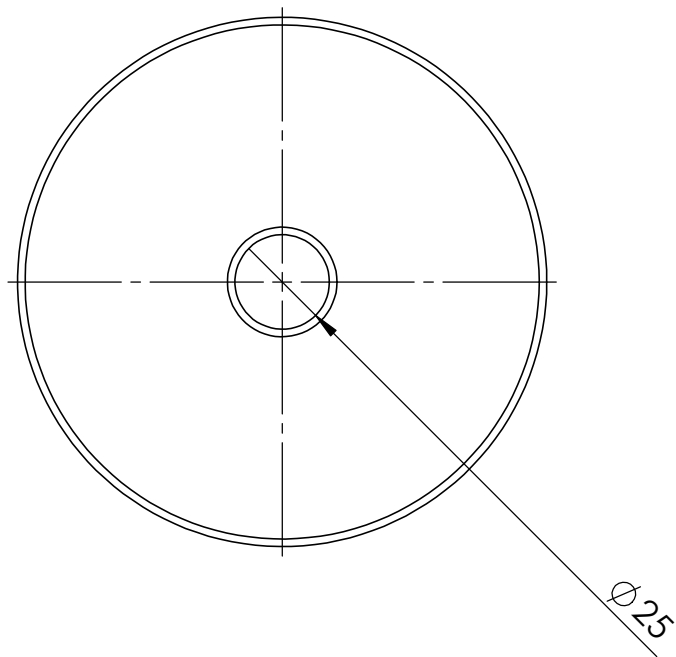
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
DIBUJ.		FIRMA		FECHA		TÍTULO:		N.º DE DIBUJO Soporte Ruedas A4	
VERIF.									
APROB.									
FABR.									
CALID.									
				MATERIAL: Acero 1020		ESCALA:1:2		HOJA 1 DE 1	
				PESO:					

4				3				2				1							
F																			
E																			
D																			
C																			
B																			
A																			
<div></div>																			
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:				ACABADO:				REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS				NO CAMBIE LA ESCALA				REVISIÓN			
DIBUJ.				FIRMA				FECHA				TÍTULO:							
VERIF.																			
APROB.																			
FABR.																			
CALID.								MATERIAL:				N.º DE DIBUJO				A4			
								Acero 1020				Cabezal							
								PESO:				ESCALA:1:5				HOJA 1 DE 1			
4				3				2				1							

4				3				2				1											
F																							
E																							
D																							
C																							
B																							
A																							
<div><div><div>436</div><div>442</div></div><div><div>5</div></div></div>																							
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:				ACABADO:				REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS				NO CAMBIE LA ESCALA				REVISIÓN							
DIBUJ.				VERIF.				APROB.				FABR.				CALID.				TÍTULO:			
MATERIAL:				Acero 1020				N.º DE DIBUJO				Base contrapeso				A4							
PESO:				ESCALA:1:5				HOJA 1 DE 1															
4				3				2				1											



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO:			REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
	NOMBRE	FIRMA	FECHA					TÍTULO:			
DIBUJ.											
VERIF.											
APROB.											
FABR.											
CALID.						MATERIAL: Acero 1020		N.º DE DIBUJO Nº1 (D_20 mm)		A4	
						PESO:		ESCALA:1:2		HOJA 1 DE 1	



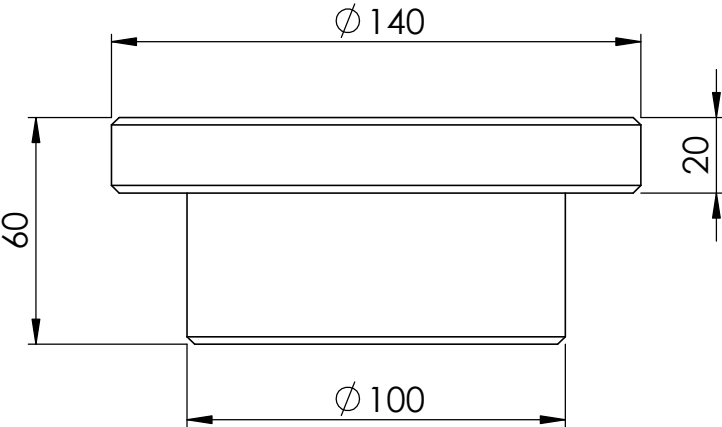
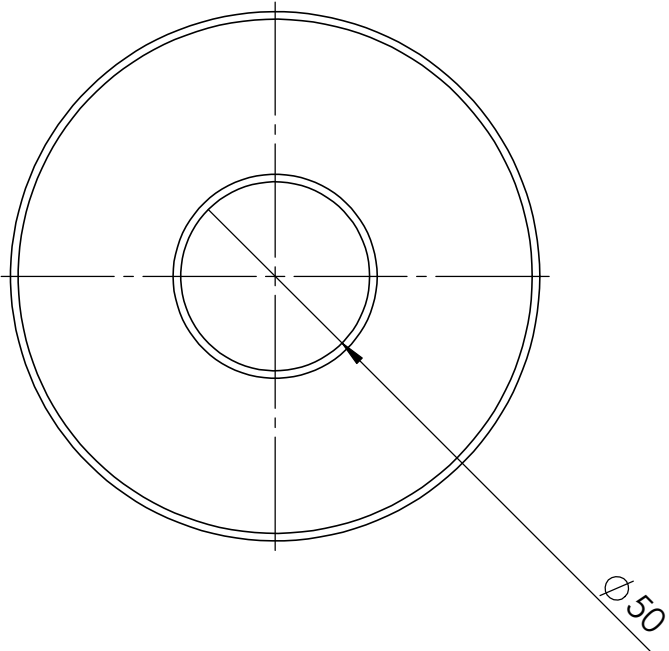
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:				ACABADO:				REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN		
	NOMBRE		FIRMA		FECHA				TÍTULO:					
DIBUJ.														
VERIF.														
APROB.														
FABR.														
CALID.							MATERIAL: Acero 1020			N.º DE DIBUJO Nº2 (D_25 mm)			A4	
					PESO:					ESCALA:1:2			HOJA 1 DE 1	

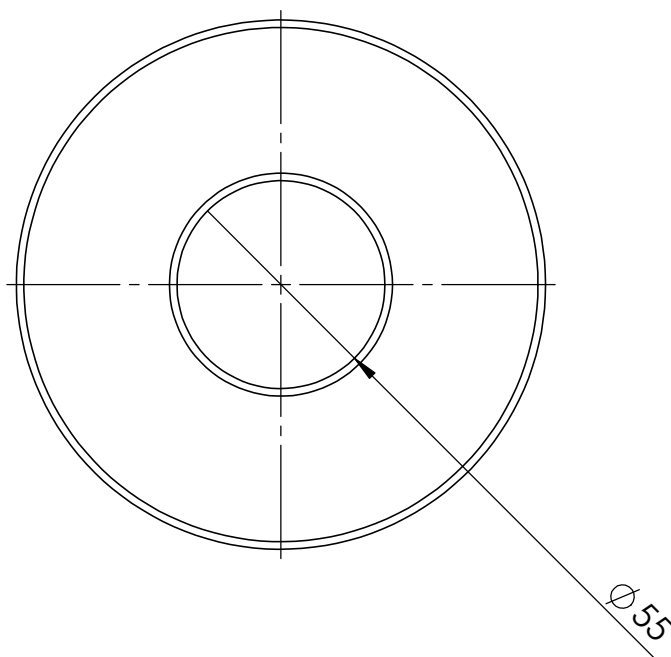
4				3				2				1																																																							
F																																																																			
E																																																																			
D																																																																			
C																																																																			
B																																																																			
A																																																																			
<p>SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:</p>								<p>ACABADO:</p>				<p>REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS</p>		<p>NO CAMBIE LA ESCALA</p>		<p>REVISIÓN</p>																																																			
<table><tr><td></td><td>NOMBRE</td><td>FIRMA</td><td>FECHA</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>DIBUJ.</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>VERIF.</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>APROB.</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>FABR.</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>CALID.</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>									NOMBRE	FIRMA	FECHA					DIBUJ.								VERIF.								APROB.								FABR.								CALID.																			
	NOMBRE	FIRMA	FECHA																																																																
DIBUJ.																																																																			
VERIF.																																																																			
APROB.																																																																			
FABR.																																																																			
CALID.																																																																			
								MATERIAL: Acero 1020				N.º DE DIBUJO Nº3 (D_30 mm)				A4																																																			
								PESO:				ESCALA:1:2				HOJA 1 DE 1																																																			
4				3				2				1																																																							

4				3				2				1			
F															
<div></div>															
E															
D															
C															
B															
A															
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:						ACABADO:				REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
DIBUJ.						NOMBRE				FIRMA		FECHA		TÍTULO:	
VERIF.															
APROB.															
FABR.															
CALID.												MATERIAL:		N.º DE DIBUJO	
												Acero 1020		Nº4 (D_35 mm)	
														A4	
												PESO:		ESCALA:1:2	
														HOJA 1 DE 1	
4				3				2				1			

4				3				2				1					
F																	
<div></div>																	
E																	
D																	
C																	
B																	
A																	
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:								ACABADO:				REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
DIBUJ.												TÍTULO:					
VERIF.																	
APROB.																	
FABR.																	
CALID.																	
								MATERIAL:				N.º DE DIBUJO					
								Acero 1020				Nº5 (D_40 mm)					
												A4					
								PESO:				ESCALA:1:2					
												HOJA 1 DE 1					
4				3				2				1					

4				3				2				1							
F																			
<div></div>																			
E																			
D																			
C																			
B																			
A																			
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:				ACABADO:				REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS				NO CAMBIE LA ESCALA				REVISIÓN			
DIBUJ.				NOMBRE				FIRMA				FECHA				TÍTULO:			
VERIF.																			
APROB.																			
FABR.																			
CALID.																N.º DE DIBUJO			
																A4			
																Nº6 (D_45 mm)			
																ESCALA:1:2			
																HOJA 1 DE 1			
4				3				2				1							

4				3				2				1			
F															
<div></div>															
E															
D															
<div></div>															
C															
B															
A															
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:						ACABADO:				REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
DIBUJ.						FIRMA				FECHA		TÍTULO:			
VERIF.															
APROB.															
FABR.															
CALID.										MATERIAL:		N.º DE DIBUJO		A4	
										Acero 1020		Nº7 (D_50 mm)			
										PESO:		ESCALA:1:2		HOJA 1 DE 1	
4				3				2				1			



8. Bibliografía

WIKIPEDIA. *Energía eólica*.

<https://es.wikipedia.org/wiki/Energía_eólica> [Consulta: 4 de Junio 2015]

ASOCIACIÓN DE PRODUCTORES DE ENERGÍAS RENOVABLES.

<<http://www.appa.es>> [Consulta: 6 de Junio 2015]

ENAIR.

<<http://www.enair.es>> [Consulta: 12 de Junio 2015]

BLICKLE

<<https://www.blickle.es/es/ruedas-para-carga-pesada-con-banda-de-rodadura-de-goma-maciza-elastica/productos/LKR-ALEV-100K-FI/>> [Consulta: 20 de Julio 2015]

WURTH. *Tornillería normalizada*.

<<http://www.wurth.cl/pdf/seccionesseparadas/04Normalizado.pdf>> [Consulta: 22 de Julio 2015]

METALCO.

<www.metalco.es/> [Consulta: 22 de Julio 2015]

OPEX-ENERGY. *Eólica, palas aerogeneradores*.

<http://opex-energy.com/eolica/palas_aerogenerador.html> [Consulta: 27 de Julio 2015]

CENTRO DE INVESTIGACIONES ENERGÉTICAS, MEDIOAMBIENTALES Y TECNOLOGÍAS.

<www.ciemat.es/> [Consulta: 30 de Julio 2015]

CENTRO NACIONAL DE ENERGÍAS RENOVABLES.

<www.cener.com/> [Consulta: 2 de Agosto 2015]

Anexo
